

UTILIZAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS NA ESTIMATIVA DE DOSE DE RADIAÇÃO
EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

Silas Cordeiro Augusto

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
CIVIL.

Aprovada por:

Prof. Luiz Landau, D. Sc.

Dr. Antônio Carlos de Abreu Mol, D. Sc.

Dr. Gerson Gomes Cunha, D. Sc.

Prof. Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira, D.Sc.

Prof. José Luis Drummond Alves, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
MARÇO DE 2008

AUGUSTO, SILAS CORDEIRO

Utilização de Ambientes Virtuais na
Estimativa de Dose de Radiação em
Instalações Nucleares [Rio de Janeiro] 2008

IX, 72p. 29,7cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Engenharia Civil, 2008)

Dissertação – Universidade Federal do Rio
de Janeiro, COPPE

1. Realidade Virtual
2. Dose de radiação
3. Instalações Nucleares

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

DEDICATÓRIA

À meus amados pais Mário Cesar e Nely, pelo amor, sustento, educação, amizade e apoio em todas as horas.

A meus queridos irmãos Joel e Davi, pela amizade e companheirismo.

Às minhas amadas avós Nair e Ormerita, pelo amor, educação, amizade e apoio.

À todos os irmãos em Cristo, especialmente aqueles próximos que demonstraram seu amor, amizade, apoio.

E finalmente à minha querida e amada Josilene, por seu amor, carinho, amizade e apoio.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Luis Landau, grande incentivador e referência maior nos estudos da ergonomia, de quem recebi o apoio necessário para a conclusão de mais esta etapa da minha vida profissional.

Ao meu orientador, amigo e colega de trabalho, Doutor Antônio Carlos de Abreu Mol, pelo apoio e paciência, que contribuiu decisivamente com seu incentivo e com sua competência profissional para a conclusão deste trabalho.

Ao professor e amigo, Doutor Gerson Gomes Cunha, pelos ensinamentos, orientações e contribuições.

Ao colega e amigo Pedro Couto Mol, pelas contribuições relativas ao núcleo de jogo Unreal Engine.

Aos amigos e companheiros de trabalho da Divisão de Instrumentação e Confiabilidade Humana do Instituto de Engenharia Nuclear, em especial do LABIHS e do LABRV.

À Comissão Nacional de Energia Nuclear, que através do Instituto de Engenharia Nuclear, proporcionou todo o apoio necessário para a conclusão desta tese de mestrado.

Aos Professores Cláudio Márcio do Nascimento Abreu Pereira e José Luis Drummond Alves por colaborarem de maneira preciosa para a avaliação do nosso trabalho com suas presenças na banca avaliadora.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UTILIZAÇÃO DE AMBIENTES VIRTUAIS NA ESTIMATIVA DE DOSE DE RADIAÇÃO EM INSTALAÇÕES NUCLEARES

Silas Cordeiro Augusto

Março/2008

Orientadores: Luis Landau

Antônio Carlos de Abreu Mol

Programa: Engenharia Civil

A integridade física das pessoas ao circular em áreas sujeitas a radiação pode ser preservada se observadas certas regras. Entre estas regras estão limites seguros de nível de radiação, de proximidade da fonte radioativa, de tempo de exposição à mesma, e a combinação desses fatores. Neste sentido, treinamentos e simulações prévias de procedimentos operacionais a serem executados em áreas sujeitas a radiação ajudam programar melhor a circulação nessas áreas, minimizando a dose recebida.

Por outro lado, Realidade Virtual é uma tecnologia capaz de ser aplicada nas diversas áreas, permitindo realizar treinamentos e simulações de ambientes reais e cenários hipotéticos, com bom grau de realismo, sem no entanto correr os riscos inerentes a atividade real.

Como o ambiente virtual não apresenta quaisquer riscos para a saúde, é possível treinar os trabalhadores, antecipadamente, para vários cenários de operação ou manutenção. Neste ambiente virtual a distribuição da taxa de dose pode ser visualizada e a dose acumulada pelo operador, representado e simulado no ambiente por um personagem virtual (avatar), exibida. Consequentemente, as tarefas a serem executadas podem ser melhor planejadas, avaliando as ações e o desempenho dos trabalhadores de forma a diminuir as falhas e os riscos à sua saúde.

Finalmente, este trabalho apresenta uma ferramenta para construção e navegação em ambientes virtuais, permitindo assim o treinamento das atividades em instalações nucleares, com a simulação de fontes radioativas e a medição da dose de radiação acumulada pelos operadores nestas instalações. Para este fim é proposta uma metodologia para a modificação e adaptação de um núcleo de jogo livre.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

USE OF VIRTUAL ENVIRONMENTS IN ESTIMATIVE OF RADIATION DOSE IN NUCLEAR FACILITIES

Silas Cordeiro Augusto

Março/2008

Advisors: Luis Landau

Antônio Carlos de Abreu Mol

Department: Civil Engineering

The physical integrity of people when walking in places subjected to radiation can be preserved by following some rules. Among these rules are safe limits of radiation level, proximity of radiation sources, time of exposition to radiation sources, and a combination of these factors. In this way, previous training and simulations of operation proceedings to be executed in places subjected to radiation help to better prepare the course in such places, minimizing the absorbed dose.

On the other hand, Virtual Reality is a technology applicable in several areas, enabling the training and simulation of real places and hypothetical scenarios, with a good level of realism, but without danger if compared to the same activities in the real world.

As a virtual environment doesn't presents any health risks, it's possible to train workers beforehand to several operation or maintenance scenarios. In this virtual environment, the dose tax distribution can be visualized, and the dose absorbed by the worker, represented and simulated in the virtual environment by a virtual character (avatar) can be shown. Therefore, the tasks to be done can be better planned, evaluating the workers actions and the performance so to reduce failures and health risks.

Finally, this work presents a tool to build and navigate in virtual environments, enabling the training of activities in nuclear facilities. To that end is proposed a methodology to modify and adapt a free game engine.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
1.1 Estado da arte.....	3
1.2 Objetivo.....	5
2. Radioatividade e dosimetria.....	7
2.1.1 Radiações ionizantes e não ionizantes.....	7
2.1.2 Conseqüências da exposição à radiação em organismos vivos.....	9
2.2.1 Radioproteção.....	10
2.2.2 Manuseio de fontes radioativas.....	11
2.2.3 Princípios de proteção radiológica.....	11
2.2.4 Formas de exposição à radiação ionizante.....	12
2.2.5 Dosimetria.....	12
2.2.6 Detetores de radiação.....	13
2.2.7 Monitores individuais.....	13
2.3 Reator nuclear de pesquisas Argonauta.....	14
2.3.1 Descrição do reator Argonauta.....	14
2.3.2 Componentes do reator.....	15
2.3.2.1 Elemento combustível.....	18
2.3.2.2 Núcleo do reator.....	19
2.3.2.3 Moderador.....	20
2.3.2.4 Refletor.....	21
2.3.2.5 Blindagem para proteção.....	21
2.3.2.6 Barras de controle.....	23
2.3.2.7 Coluna térmica externa.....	24
2.3.2.8 Sistema hidráulico.....	25
2.3.3 Operação.....	26

2.3.4 Aplicações atuais do reator Argonauta.....	27
3. Realidade virtual.....	29
3.1.1 Realidade virtual.....	29
3.1.2 Ambientes virtuais.....	30
3.1.3 Avatar.....	31
3.1.4 Aplicação.....	32
3.2 Núcleos de jogos.....	33
3.2.1 Descrição de núcleos de jogos.....	33
3.2.2 Funções e benefícios.....	33
3.2.3 Distinção entre núcleos de jogos 3D e núcleos de renderização 3D.....	36
3.2.4 Núcleos de jogo para jogos de tiro em primeira pessoa.....	36
3.2.5 Middleware.....	38
3.3. O núcleo de jogo Unreal Engine.....	40
3.3.1 Justificativas da escolha.....	40
3.3.2 Relação custo/benefício.....	42
3.3.3 Unreal Script.....	42
3.4 LabRV - Laboratório de Realidade Virtual.....	44
3.4.1 Descrição do LabRV.....	44
3.4.2 Sistema de projeção.....	44
4. Metodologia e desenvolvimento.....	47
4.1 Metodologia.....	47
4.1.1 Características do Unreal que o permitem realizar o tipo de simulação desejado.....	48
4.1.2 Modelagem de cenários para simulações.....	50
4.1.3 Ajustes nas características padrão do avatar.....	50
4.1.4 Ajustes na interface gráfica.....	51
4.1.5 Adição de simulações ao Unreal para a realização de simulações.....	52

4.1.6 Dados de dose de radiação do cenário a ser simulado.....	52
4.2 Desenvolvimento.....	53
4.2.1 Classes criadas.....	53
4.2.2 Descrição e utilização da classe RVAreaQuente.....	55
4.2.3 Descrição dos ajustes nas propriedades padrão do avatar.....	57
4.2.4 Descrição dos ajustes nos menus.....	61
5. Aplicação.....	62
6. Conclusão e trabalhos futuros.....	65
6.1 Conclusão.....	65
6.2 Trabalhos futuros.....	67
7. Referências bibliográficas.....	69

CAPÍTULO 1

Introdução

Existem determinadas situações de trabalho nas quais o ser humano necessita entrar em áreas sujeitas à radiação. Como a exposição à radiação pode representar um risco para a saúde, é imprescindível que algumas normas sejam seguidas.

Uma das principais normas é o princípio ALARA (**A**s **L**ow **A**s **R**easonably **A**chievable) (ICRP Publication 60, 1990), ou seja, quando for necessária a exposição à radiação, esta deve ser “tão baixa quanto razoavelmente exeqüível”, de forma a minimizar os efeitos sobre a saúde.

Outra norma importante é a observância dos limites seguros estabelecidos para dose de radiação (ICRP Publication 60, 1990). O valor da dose é influenciado por diversos fatores, como: tipo de fonte radioativa, nível de radiação, proximidade da fonte radioativa, tempo e frequência de exposição à mesma, e a combinação desses fatores.

A não observância de tais normas pode afetar a saúde devido aos efeitos nocivos da radiação. Dependendo da dose absorvida, as conseqüências podem variar desde náuseas e vômitos até a morte (PASTURA, 2003). Portanto é imprescindível o cumprimento das normas. Para pessoas cuja ocupação as expõe à radiação, a dose absorvida por cada indivíduo deve ser contabilizada, para que exposições sucessivas não venham a, combinadas dentro de um determinado espaço de tempo, ultrapassar os limites seguros estabelecidos pelas normas de segurança.

Existem áreas, definidas como controladas, que apresentam níveis de radiação altos, e portanto o controle e monitoração em tais áreas é intenso e rigoroso. Nelas, dependendo das circunstâncias, os trabalhadores não podem estar presentes (ex: sala do vaso do núcleo de um reator nuclear durante sua operação) ou, quando uma intervenção humana é necessária e possível, devem permanecer o mínimo possível,

para a dose permanecer dentro de limites aceitáveis e, dentro do possível, ser minimizada. Como exemplo, um trabalhador pode entrar em uma área controlada para rapidamente realizar uma tarefa e, logo que o nível de exposição se aproximar dos limites aceitáveis ou propostos ou a tarefa for cumprida, ele deve imediatamente deixar a área, sendo substituído por outro trabalhador caso a tarefa não tenha sido concluída. Um método para diminuir/minimizar a dose individual é dividir uma tarefa de execução seqüencial entre um grupo de trabalhadores, de forma que a dose que seria recebida para um único indivíduo seja dividida entre um grupo de pessoas, cada uma recebendo uma fração da dose total. Em situações onde é necessária a exposição a uma alta dose em um curto espaço de tempo, o trabalhador é afastado por um longo período de atividades que venham a expô-lo à radiação, sendo este período de acordo com a dose recebida. Uma medida comum para o controle e monitoração neste caso é o uso de equipamentos de monitoração instantânea dos níveis de radiação.

Também, devido à gravidade da questão, são de grande utilidade métodos e técnicas que permitam prever a dose de radiação absorvida por um indivíduo cuja ocupação o expõe à radiação.

Sendo assim o planejamento prévio das atividades a serem realizadas na área sujeita à radiação torna-se fundamental para que os limites seguros de dose recebida sejam respeitados. Neste contexto, treinamentos por meio de simulações por computador, das atividades de trabalhadores podem trazer algumas vantagens, entre elas: (i) permite estimar as doses de radiação absorvidas pelos trabalhadores; (ii) não expõem os trabalhadores a nenhum nível de radiação para a realização de simulações e treinos, não apresentando nenhum risco para a saúde dos mesmos; (iii) contribui para um melhor planejamento das atividades nestas áreas, medindo as doses recebidas e consequentemente avaliando os riscos para a saúde; (iv) permite simulações de instalações já projetadas mas ainda não construídas, de composição complexa, ou que podem ser de difícil acesso, devido a restrições, inviabilidade, inconveniências, etc.

Uma forma de realizar simulações por computador é através do uso da Realidade Virtual (WIKIPEDIA, 2008), permitindo assim a visualização do ambiente através de uma representação com gráficos tridimensionais, e com uma perspectiva de visualização em 1ª pessoa, ou seja, como se o usuário estivesse “dentro” do ambiente.

1.1 - Estado da arte

Durante a etapa de pesquisa bibliográfica para este trabalho, procurou-se por trabalhos nos quais sistemas de realidade virtual fossem utilizados como ferramentas de treinamento. Entre estes sistemas encontram-se o VRdose, desenvolvido pelo Halden Virtual Reality Centre (Halden Virtual Reality Centre, 2008), o sistema de realidade virtual do projeto CIPRES, desenvolvido pela IBERINCO e pela Universidad Politécnica de Valencia (RÓDENAS, J., ZARZA, I., *et al.*, 2004), e o sistema de evacuação desenvolvido pelo LabRV do Instituto de Engenharia Nuclear (COUTO COUTO, P. M., MÓL, A. C. A., *et al.*, 2007).

O VRdose (figura 1.1) , desenvolvido pelo Halden Virtual Reality Centre, é uma ferramenta capaz de exibir a distribuição da taxa de dose e fornecer estimativa de doses ocupacionais para cenários de trabalho em instalações nucleares. Pode ser utilizado para melhorar a percepção dos operadores sobre a radiação na instalação, ser aplicado através o ciclo de vida da instalação, desde o comissionamento até o descomissionamento, e fazer previsões calculadas a partir de levantamentos dosimétricos previamente realizados na instalação ou de softwares de cálculo de dose de radiação.

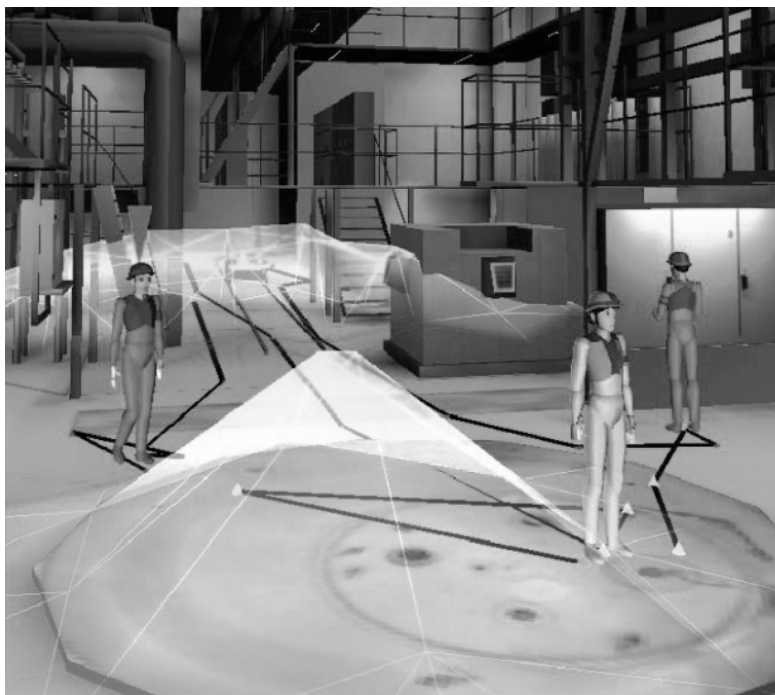


Figura 1.1 - Imagem do VRdose durante uma simulação.

O software de realidade virtual utilizado no programa de treinamento do projeto CIPRES foi desenvolvido com o objetivo de reduzir as doses recebidas pelos trabalhadores e minimizando o tempo das operações. Ele permite o treino de operadores de instalações nucleares simulando operações de recarga de combustível. O software informa durante a simulação tanto a dose acumulada como a dose instantânea. Para tanto, foi necessário definir uma base de dados contendo taxas de dose em todos os locais da instalação, baseada em dados de levantamentos dosimétricos realizados durante operações de recarga. Foram utilizadas rotinas de interpolação em conjunto com algumas suposições para estimar as doses através da instalação e obter dados consistentes.

O sistema de evacuação do LabRV é uma modificação do Unreal Engine 2 Runtime com propriedades do avatar alteradas para tornar sua simulação mais realista, e com a simulação utilizando a rede local para a participação simultânea, no mesmo cenário,

dos avatares de outros usuários em outros computadores. Dessa forma é possível os avatares de diferentes usuários interagirem entre si e realizarem tarefas em equipe durante a simulação. Entre as modificações do avatar, foram alteradas a velocidade de deslocamento e o cilindro de colisão do avatar. Plantas de instalações são reproduzidas no editor de cenários UnrealEd para a criação de um cenário, utilizado durante uma simulação juntamente com vários avatares através da rede local para cronometrar o tempo gasto para a evacuação da instalação virtual e avaliar as rotas de saída, entre outras possibilidades.

1.2 – Objetivo

O objetivo desta tese é utilizar tecnologias de Realidade Virtual para desenvolver uma ferramenta para construção de ambientes virtuais de modo a reproduzir uma instalação nuclear com suas respectivas áreas quentes, permitindo que o usuário navegue virtualmente nesta instalação, contabilizando a dose de radiação recebida. Para este fim é proposta uma metodologia para a modificação e adaptação de um núcleo de jogos livre. Após o núcleo ser checado quanto a atender aos requisitos da metodologia e passar pelo processo que ela descreve, o núcleo deverá permitir que o usuário navegue virtualmente na instalação através de um avatar enquanto simula a contagem de dose de radiação.

O capítulo 2 deste trabalho trata sobre radioatividade, radioproteção e seus princípios, as conseqüências da exposição à radiação em organismos vivos, dosimetria e detetores de radiação, e o reator nuclear de pesquisas Argonauta.

No capítulo 3, fala-se sobre realidade virtual, ambientes virtuais e avatar, as aplicações da realidade virtual, núcleos de jogos, com suas funções e seus benefícios, middleware, o núcleo de jogo Unreal Engine, e o LABRV e seu sistema de projeção.

No capítulo 4, fala-se sobre a metodologia adotada para tornar o Unreal capaz de realizar o tipo de simulação desejada, e o desenvolvimento das mudanças e ajustes no núcleo para alcançar os objetivos.

No capítulo 5, fala-se sobre a aplicação do Unreal Engine já modificado e adaptado para a reprodução da sala do reator Argonauta, informando as classes criadas ou modificadas no núcleo.

Finalmente, no capítulo 6 apresentam-se as conclusões sobre o trabalho e propostas para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 2

Radioatividade e dosimetria

Na natureza existem elementos que são instáveis, pelo fato de seus átomos passarem por transformações nucleares espontâneas. Esta instabilidade nuclear está diretamente relacionada com a razão entre o número de prótons e o número de nêutrons dos átomos destes elementos radioativos.

Se olharmos a tabela periódica, veremos que para átomos de baixo Z (número atômico), esta razão é próxima da unidade, ou seja, o número de prótons é igual ao número de nêutrons. Conforme Z aumenta, os elementos da tabela periódica tornam-se instáveis, pois a diferença torna-se muito grande e estes passam a desintegrar-se através da emissão de partículas ou de ondas eletromagnéticas para conseguir chegar à estabilidade.

Os elementos que passam por essas transformações são denominados radioativos, e a emissão de partículas ou de ondas eletromagnéticas é chamada radiação. O processo de transformação é dito decaimento radioativo, que se caracteriza pela emissão de três tipos principais de radiação: α (alfa), β (beta) e γ (gama).

2.1.1 – Radiações ionizantes e não ionizantes

As radiações podem ser classificadas como ionizantes ou não ionizantes quando possuem ou não energia o suficiente para arrancar elétrons dos átomos do meio material com o qual interagem, o que é chamado de processo de ionização.

As radiações ionizantes são consideradas de alta energia e frequência e possuem efeitos a nível atômico, podendo provocar alterações ou danos no material irradiado.

Isso pode ser utilizado para fins benéficos, como no tratamento radioterápico de um tumor, onde as células tumorais são agredidas, mas também pode trazer efeitos negativos às outras células do organismo, como por exemplo provocando a queda de cabelos. As radiações ionizantes podem ser divididas em dois grupos:

- Radiações corpusculares (partículas alfa e partículas beta) : Possuem massa. Partículas que fazem parte do átomo, como elétrons, nêutrons e prótons, quando possuem alta velocidade, podem formar um feixe de radiação corpuscular que é emitido pelos núcleos dos átomos instáveis. Possuem baixo poder de penetração na matéria (figura 2.1).

- Radiações eletromagnéticas (raios gama e raios X) : Não possuem massa, são apenas pacotes de ondas. As mais comuns são os raios gama e raios X, a única diferença entre os dois é a forma como são originados. Possuem alto poder de penetração na matéria (figura 2.1).

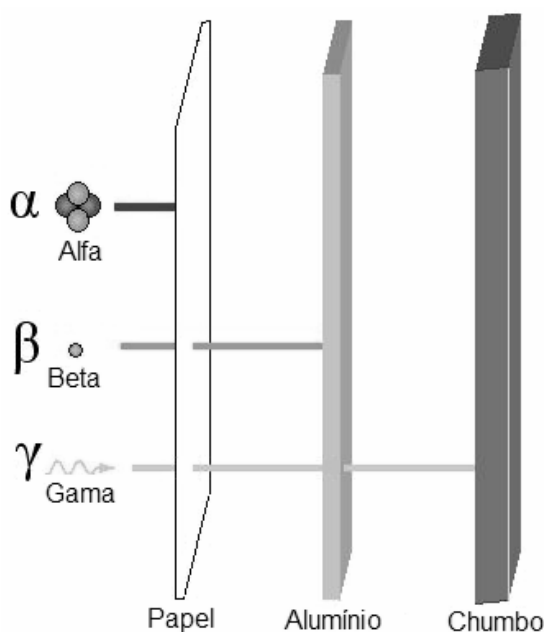


Figura 2.1 - Poder de penetração na matéria de diferentes tipos de radiações ionizantes.

As radiações não ionizantes são consideradas de baixa energia e frequência, com frequência igual ou menor que a da luz, portanto abaixo da luz violeta. Geralmente a faixa de frequência mais baixa do UV (UV-A ou UV próximo) também é considerada não ionizante, ainda que ela e até mesmo a luz podem ionizar alguns átomos. Elas não possuem efeitos a nível atômico, não provocando alterações no átomo, mas podem provocar efeitos a nível molecular, podendo assim causar problemas à saúde. Está demonstrado, por exemplo, que as microondas podem causar, além de queimaduras, danos ao sistema reprodutor. Existem também estudos sobre danos causados pelas radiações dos monitores de computador CRT (Cathode Ray Tube, Tubo de Raios Catódicos), celulares, radiofrequências, e até da rede de distribuição de 60Hz.

2.1.2 – Conseqüências da exposição à radiação em organismos vivos

As conseqüências da exposição à radiação no corpo humano e em outros organismos vivos podem variar devido a diversos fatores, entre eles se a exposição foi de corpo inteiro ou se foi localizada, afetando somente uma área específica, e o tipo de tecido afetado. Há radiações que são até mesmo benéficas para os seres vivos, como pequenas doses de ultravioleta, necessárias para a produção de vitamina D no organismo, e o infravermelho, atuante nos processos de regulação da temperatura do corpo.

A radiação afeta os organismos vivos ao alterar suas moléculas, o que pode afetar as células ou gerar elementos químicos que podem afetá-las. O tempo para manifestação dos efeitos pode ser agudo para altas doses absorvidas em um curto espaço de tempo, se não em uma única exposição, ou tardios, devido a pequenas exposições ao longo de grande espaço de tempo.

.2.2.1 – Radioproteção

Devido à radiação ser um fenômeno imperceptível aos sentidos (incolor, inaudível, inodor e não palpável) e possuir efeitos nocivos para o meio ambiente e os seres vivos, é necessária a adoção de um conjunto de medidas para a proteção destes, especialmente para os indivíduos ocupacionalmente expostos à radiação. Estas medidas incluem a utilização de monitores de dose de radiação e de roupas protetoras, e a observância de regras e de procedimentos de operação que visam evitar acidentes com radiação e diminuir a exposição dos trabalhadores à radiação.

A radioproteção ou proteção radiológica (PASTURA, 2003) visa proteger a saúde do ser humano dos efeitos nocivos da exposição à radiação, e permitir a indivíduos ocupacionalmente expostos às radiações ionizantes a execução segura de suas atividades. Os efeitos nocivos podem manifestar-se a curto prazo em caso de exposições a doses muito altas de radiação, mesmo que a duração da exposição seja curta, e a longo prazo em caso de exposições freqüentes e/ou de longa duração, mesmo que a dose de radiação seja baixa. Para evitar e/ou minimizar a incidência destes efeitos nocivos, a radioproteção busca reduzir a exposição do ser humano às radiações ionizantes ao mínimo, tanto a nível de duração de exposição como de intensidade de dose.

A radioproteção também é responsável pela descontaminação de locais onde ocorreram vazamento de material radioativo, visando minimizar os efeitos nocivos para a saúde do ser humano e o meio ambiente.

2.2.2 – Manuseio de fontes radioativas

O manuseio de fontes radioativas envolve muitos cuidados rigorosos. Apesar disto, sempre haverá o risco das fontes radioativas afetarem a saúde dos trabalhadores. Por este motivo, é necessária a constante monitoração dos níveis de radiação tanto das instalações contendo fontes radioativas como dos trabalhadores destas instalações. Durante seu trabalho com radiações ionizantes, o trabalhador recebe uma dose de radiação que pode ser minimizada se forem observados três critérios: tempo de exposição, distância da fonte radioativa e blindagem. Quanto a) menor for o tempo de exposição, b) maior for a distância da fonte, c) maior for a blindagem entre o trabalhador e a fonte, d) ou uma combinação destes fatores, menor será a dose de radiação absorvida pelo trabalhador.

2.2.3 – Princípios de proteção radiológica

Como a exposição a altas doses de radiação em um curto espaço de tempo pode levar à morte o ser humano, alguns princípios de proteção radiológica devem ser seguidos para tornar mais seguras as práticas envolvendo radiações ionizantes, nos quais deve predominar a relação custo-benefício de acordo com as normas da CNEN (ICRP Publication 60, 1990).

Princípio da justificação – Qualquer atividade envolvendo radiações ionizantes ou exposição às radiações deve ser justificada em relação às outras alternativas e trazer um benefício líquido para a sociedade.

Princípio da otimização ou ALARA (As Low As Reasonably Achievable) – Qualquer exposição à radiação ionizante deve ser mantida tão baixa quanto razoavelmente exequível, levando-se em conta os recursos sócio-econômicos disponíveis.

Princípio da limitação da dose individual – As doses individuais de trabalhadores e de indivíduos do público não devem ultrapassar os limites de dose equivalente definidos na norma CNEN - NN 3.01.

2.2.4 – Formas de exposição à radiação ionizante

Para fins práticos, as formas de exposição do ser humano à radiação ionizante são classificadas como externa e interna.

Na exposição externa, as fontes de radiação são externas ao corpo do indivíduo. Neste primeiro caso, a radiação é transferida da fonte de radiação para o tecido ou órgão do indivíduo exposto somente durante o período durante o qual o indivíduo permanecer dentro do campo de radiação da fonte. Um exemplo é a radiação gerada por máquinas, como aparelhos de raios X, gamagrafia, radioterapia, entre outros.

Na exposição interna, as fontes de radiação são internas ao corpo do indivíduo. Neste segundo caso, há entrada de material radioativo no corpo do indivíduo, processo este que é chamado de incorporação, e ocorre por meio da ingestão, da inalação, ou da penetração através de ferimentos ou da pele de material radioativo.

2.2.5 – Dosimetria

Dosimetria radioativa é o cálculo da dose absorvida na matéria e tecidos vivos, resultante da exposição à radiação ionizante. A dose é informada em gray (Gy) para material ou sieverts (Sv) para tecidos orgânicos, onde 1 Gy ou 1 Sv é igual a 1 joule por quilograma. Unidades não baseadas no Sistema Internacional de Medidas também ainda prevalecem, onde a dose é frequentemente informada em rads e a dose

equivalente é informada em rems. Por definição, $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ e $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$. (WIKIPEDIA, 2008) As normas de dosimetria definem regras quanto aos limites aceitáveis de radiação para o meio ambiente e os seres vivos. Através do uso de detectores de radiação e dosímetros individuais, é possível monitorar os níveis de radiação presentes em ambientes e as doses de radiação absorvidas por indivíduos, colaborando para a avaliação e desenvolvimento de procedimentos operacionais com o objetivo de minimizar a exposição à radiação. Por exemplo, uma dose alta pode indicar problemas na rotina de trabalho, na blindagem das fontes de radiação, ou nos equipamentos.

2.2.6 – Detectores de radiação

Detetores de radiação são dispositivos que, quando inseridos em um campo de radiação, são capazes de instantaneamente detectar sua presença e medir os níveis de radiação. Eles são na verdade transdutores, capazes de transformar os sinais provenientes das radiações em pulsos de corrente elétrica. Existem modelos adaptados à monitoração de dose de diferentes tipos de radiações e com formas e dimensões diferentes.

2.2.7 – Monitores individuais

Monitores individuais são dispositivos de uso individual que devem ser sempre utilizados por trabalhadores ocupacionalmente expostos ou pessoas que passarão por exposição durante determinadas circunstâncias, como visitas a áreas supervisionadas ou controladas de instalações nucleares. São utilizados para obter-se o valor da dose de radiação absorvida pelo indivíduo ao longo de um determinado espaço de tempo.

Um tipo de equipamento de monitoração individual utilizado nas instalações do IEN, similar a um crachá, contém um filme dosimétrico sensível às radiações que é periodicamente recolhido para análise e determinação da dose absorvida (PASTURA, 2003). Caso seja detectada uma dose além do previsto ou permitido, são tomadas medidas, como o afastamento temporário deste indivíduo de áreas com dose de radiação, reavaliações dos procedimentos de operação deste trabalhador, ou inspeções nas instalações nucleares visitadas durante o período, em busca de vazamentos radioativos. Outro tipo de equipamento de monitoração, utilizado para a monitoração do nível de radiação, é o contador Geiger (WIKIPEDIA, 2008). Ele utiliza como sensor uma câmara de ionização preenchida com gás. O gás, ao ser ionizado pela radiação, gera uma corrente elétrica que é medida por um galvanômetro, permitindo assim saber o atual nível de radiação do local onde está o sensor.

2.3 – Reator nuclear de pesquisas Argonauta

2.3.1 – Descrição do reator Argonauta

O reator Argonauta (figura 2.2), instalado no Instituto de Engenharia Nuclear, é um reator térmico de pesquisa tipo piscina que utiliza como combustível urânio enriquecido a 20% em U-235, com potência máxima de 5 kW (para configuração atual) e potência usual de operação de 170 a 340 W. Foi o primeiro reator de pesquisa construído no país por empresa nacional. Apresenta ótimas características para ensino, pesquisa e treinamento de pessoal especializado em ciência e tecnologia nuclear. Desde 1965 o reator de pesquisa Argonauta vem sendo utilizado em pesquisas envolvendo nêutrons nas áreas da física de reatores e nuclear. Atualmente, entre as principais linhas de pesquisas estão ensaios não destrutivos com nêutrons térmicos nas áreas de biologia, indústria, meio ambiente e segurança pública nacional. Também são produzidos radioisótopos (Mn-56, La-140, Se-75 e Br-82) para serem

utilizados como traçadores em pesquisas nas áreas do meio ambiente e industrial. Colaborando com universidades e instituições, disciplinas e aulas diversas são ministradas em suas dependências completando a formação de alunos, da graduação ao doutorado. Cerca de 70 alunos de instituições e universidades brasileiras obtiveram seus títulos de mestre ou doutor utilizando este reator no desenvolvimento de suas pesquisas.

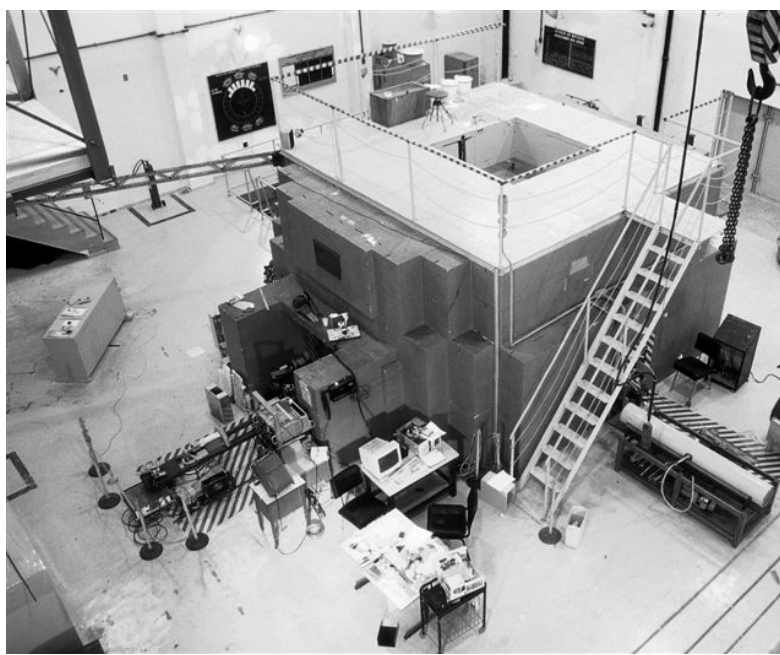


Figura 2.2 - Reator Argonauta.

2.3.2 – Componentes do reator

A figura 2.3 apresenta o reator Argonauta em corte vertical, numerando vários de seus componentes, seguida pela legenda da numeração na figura 2.3. As seções 2.3.2.1 a 2.3.2.8 do capítulo 2 trazem descrições dos componentes mais relevantes do reator, que são: elemento combustível, núcleo do reator, moderador, refletor, blindagem para proteção, barras de controle, coluna térmica externa e sistema hidráulico.

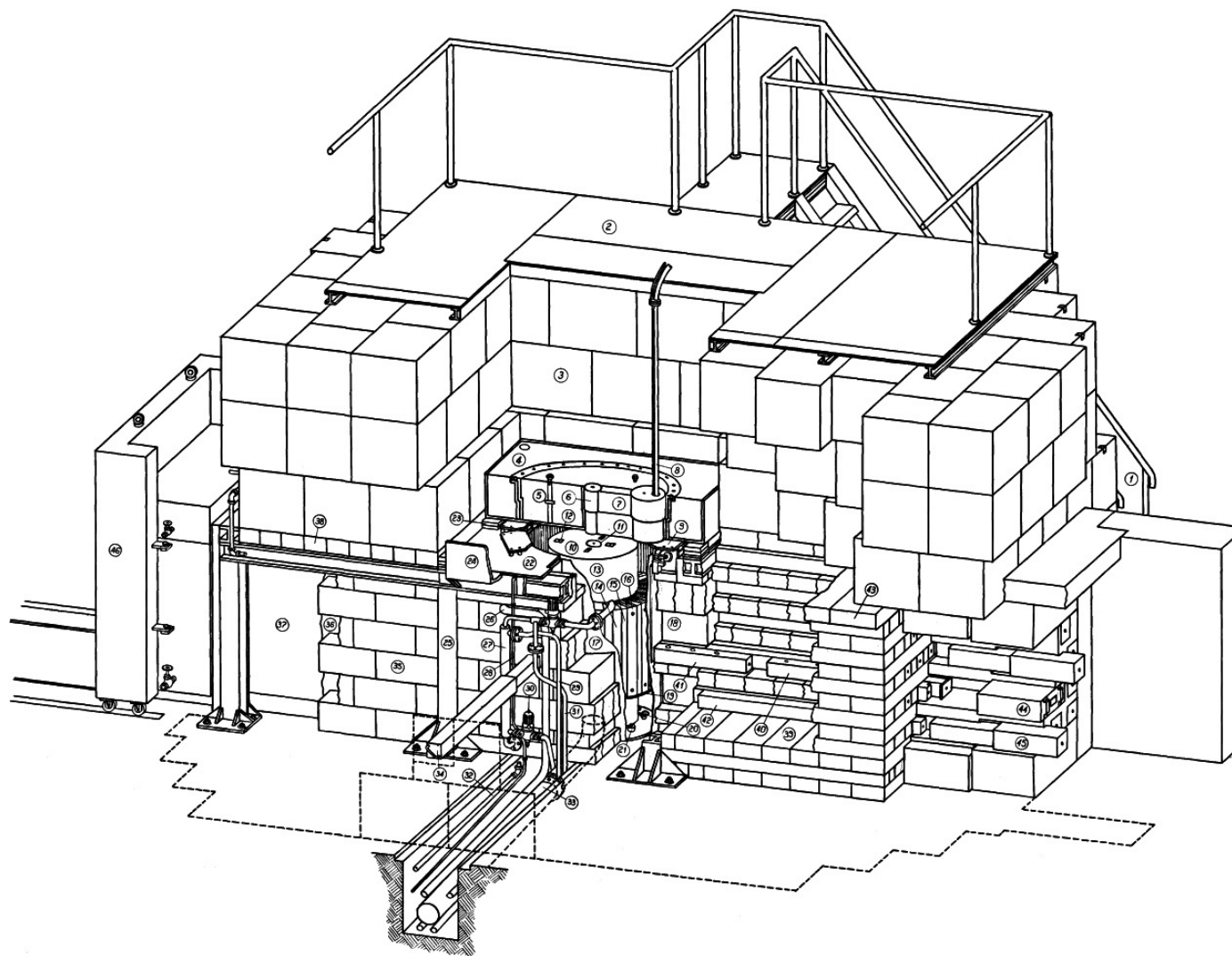


Figura 2.3 - Reator Argonauta em corte vertical.

- | | |
|--|---|
| 1 – Escada de acesso | 24 – Guarnição para instrumentação |
| 2 – Piso superior | 25 – Estrutura |
| 3 – Blocos de concreto – camadas de blindagem | 26 – Linha de convecção |
| 4 – Escudo | 27 – Trocador de calor |
| 5 – Tampão rotativo para posicionamento | 28 – Linha de nitrogênio |
| 6 – Plug superior central | 29 – Linha de arrefecimento do trocador |
| 7 – Plug superior lateral | 30 – Válvula eletromagnética |
| 8 – Sistema de transferência de amostras | 31 – Linha de enchimento do núcleo |
| 9 – Mecanismo de barra de cádmio | 32 – Linha de enchimento do tanque |
| 10 – Coluna térmica central | 33 – Linha de dreno |
| 11 – Régua central | 34 – Plug horizontal nº 2 |
| 12 – Régua lateral | 35 – Blindagem lateral do tanque |
| 13 – Tanque interno | 36 – Chapa espaçadora |
| 14 – Bloco de grafite | 37 – Tanque de blindagem removível |
| 15 – Cunha de grafite | 38 – Vigas de sustentação da blindagem |
| 16 – Elemento combustível | 39 – Coluna térmica |
| 17 – Tanque externo | 40 – Plug externo do J9 |
| 18 – Refletor externo | 41 – Plug interno do J9 |
| 19 – Aro suporte | 42 – Plug J11 |
| 20 – Chuveiro de nitrogênio | 43 – Vigas de sustentação da blindagem |
| 21 – Pino de apoio e centragem do tanque interno | 44 – Blindagem removível do canal J9 |
| 22 – Chapa superior da estrutura | 45 – Blindagem do canal J11 |
| 23 – Chapas espaçadoras | 46 – Blindagem adicional removível |

2.3.2.1 - Elemento combustível

Um elemento combustível comum do reator Argonauta é formado por 17 placas combustíveis fixadas por dois pinos de alumínio. O “cermet” da placa combustível contém uma mistura de alumínio com U_3O_8 , ambos em pó, sendo o urânio enriquecido a 19,91% em U-235. Após um tratamento específico, a mistura é colocada em uma moldura de alumínio de 12 mm de espessura. Esse “quadro” é então prensado e posteriormente soldado entre duas placas de alumínio de 2 mm de espessura formando um conjunto a ser laminado até a obtenção das dimensões 2,43 x 73 x 610 mm.

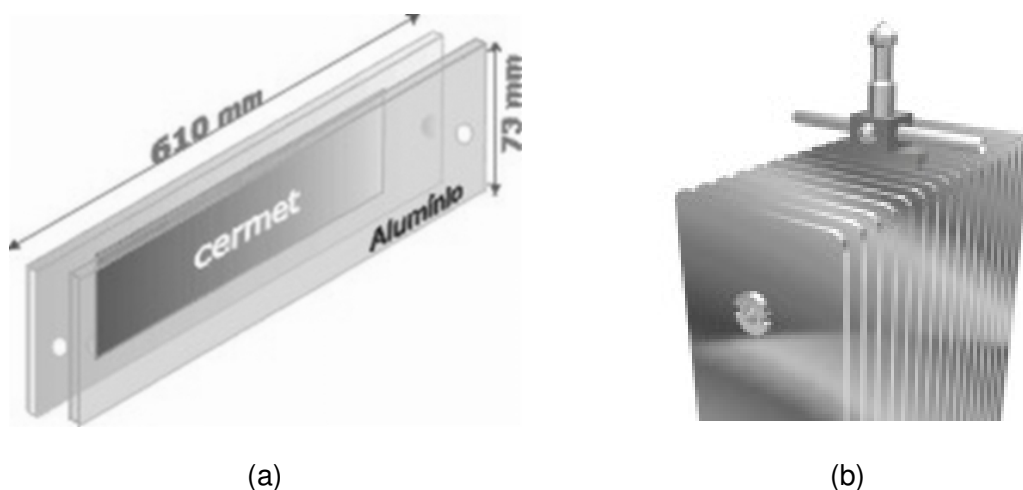


Figura 2.4 - (a) Placa combustível; (b) Elemento combustível.



Figura 2.5 - Visão superior de elementos combustíveis inseridos no núcleo do reator.

2.3.2.2 – Núcleo do reator

O núcleo do reator Argonauta (figura 2.6) é constituído de dois cilindros concêntricos em alumínio de altura 1178 mm e diâmetros 610 mm e 915 mm (item a). O anel formado entre eles é denominado REGIÃO DO COMBUSTÍVEL. Embora a distribuição dos elementos combustíveis nesse anel possa ser bastante flexível, o carregamento atual é feito em apenas um segmento (item b). Para dar o formato em anel à região do combustível, são utilizadas 24 cunhas de grafita nuclearmente pura com seção transversal triangular (item c). As posições não preenchidas pelos elementos combustíveis são ocupadas por blocos de grafita nas mesmas dimensões (item d). O carregamento atual é de 8 elementos combustíveis simetricamente distribuídos, sendo 6 deles com 17 placas e 2 com 7 placas mais meio prisma de grafita (item e). No elemento combustível as placas são espaçadas de modo que a água penetre entre elas, permitindo a refrigeração e a moderação dos nêutrons produzidos na fissão. O interior do cilindro menor é preenchido com blocos de grafita justapostos de modo a formar uma configuração cilíndrica (item f). Esse conjunto é denominado COLUNA TÉRMICA INTERNA. Na parte superior, a coluna térmica interna é revestida por um disco de alumínio de diâmetro idêntico ao tanque interno (item g). As gavetas permitem a colocação de amostras para irradiação (item h). O refletor externo é formado pelo empilhamento de blocos de grafita que envolvem a região do combustível (item i). O conjunto tem dimensões de 1,50 x 1,50 m de altura e 1,20 m. Para proteção da grafita é colocada uma chapa de alumínio (item j). A monitoração da radiação gama no núcleo é feita por uma câmara de ionização externa ao sistema de segurança eletrônica do reator (item k). O reator é controlado por 6 lâminas de cádmio, denominadas BARRAS DE CONTROLE. Estão localizadas em canais no refletor tangenciando o cilindro externo, e deslocando-se paralelamente à geratriz desse cilindro (item l).

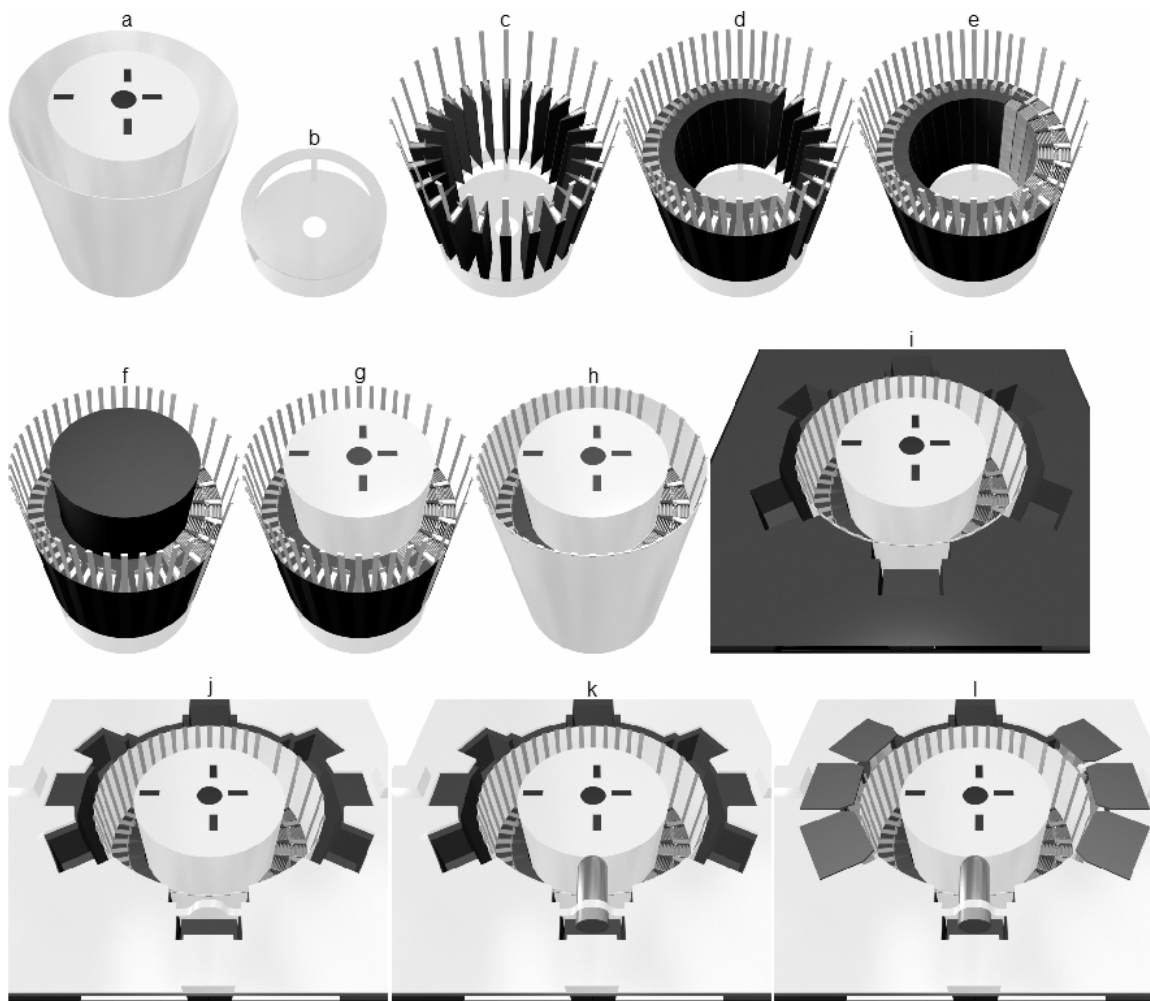


Figura 2.6 - Composição do núcleo do reator Argonauta.

2.3.2.3 - Moderador

São utilizados dois tipos de moderadores. Entre as placas combustíveis é utilizada água deionizada. Entre os elementos combustíveis, é utilizada grafita em forma de cunhas.

2.3.2.4 - Refletor

São utilizados dois tipos de refletores. Na direção vertical, é utilizada água deionizada. Na direção radial e azimutal, é utilizada grafita.

2.3.2.5 – Blindagem para proteção

Uma blindagem envolve o núcleo do reator, formando uma estrutura cujo principal objetivo é bloquear e atenuar as radiações produzidas pelo núcleo durante sua operação, especialmente bloquear as radiações dos tipos alfa e beta, de baixo poder de penetração na matéria, e atenuar as radiações dos tipos gama e ionizantes, de alto poder de penetração na matéria. A blindagem é constituída por:

- blocos de concreto nas laterais, empilhados em torno do refletor;
- blocos de concreto no topo, revestidos com uma chapa de aço;
- um tanque de blindagem contendo água, no lado oposto da coluna térmica externa.

A blindagem possui alguns acessos ao núcleo, alguns utilizados para a sua manutenção, outros utilizados para aplicações científicas.

Um acesso utilizado para a manutenção do núcleo encontra-se na face superior da blindagem, utilizado para a recarga dos elementos combustíveis do reator (figura 2.7). Em atividades normais na sala do reator nas quais os operadores não sobem na face superior da blindagem através da escada na lateral do reator, os operadores normalmente não necessitam se preocupar com este acesso quanto à exposição à radiação proveniente dele, pois:

- a) o acesso é fechado por uma tampa de blindagem,
- b) a propagação da radiação segue uma trajetória linear,
- c) o acesso está a 2,77 m acima do piso da sala do reator e a 1,08 m abaixo da face superior da blindagem.

Portanto, não há a possibilidade da radiação proveniente deste acesso seguir uma trajetória que atinja indivíduos sobre o piso da sala do reator. Ainda assim, é proibido permanecer sobre a face superior da blindagem durante a operação do reator.



Figura 2.7 - Troca de elemento combustível no reator Argonauta.

Outro acesso encontra-se na traseira do reator (figura 2.8), utilizado para um acesso direto ao núcleo caso seja necessário realizar manutenção. Entretanto, este acesso permitiria que a radiação atingisse os operadores ao trafegarem em frente a ele. Por este motivo existem barreiras para bloquear a radiação proveniente deste acesso, compostas

pelo tanque de blindagem com água, encaixado na passagem de acesso, seguido de uma barreira, deslocável graças à rodas e que cobre a passagem.

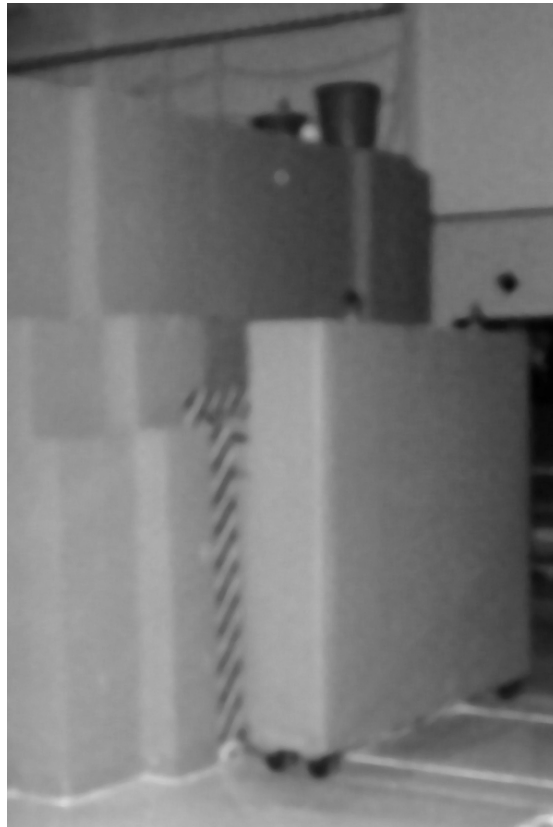


Figura 2.8 - Acesso traseiro ao núcleo do reator, para manutenção.

2.3.2.6 – Barras de controle

A população de nêutrons é controlada por seis barras absorvedoras constituídas por lâminas de cádmio que se deslocam dentro de canais existentes no grafite refletor externo.

2.3.2.7 – Coluna térmica externa

Situada na parte frontal do reator, a coluna térmica externa (figura 2.9) contém treze blocos de grafita removíveis para realização de experimentos. O canal principal, denominado J-9, possui o maior fluxo de nêutrons pois alcança o tanque de alumínio externo a meia altura dos elementos combustíveis. A profundidade dos outros canais atinge somente o refletor externo.

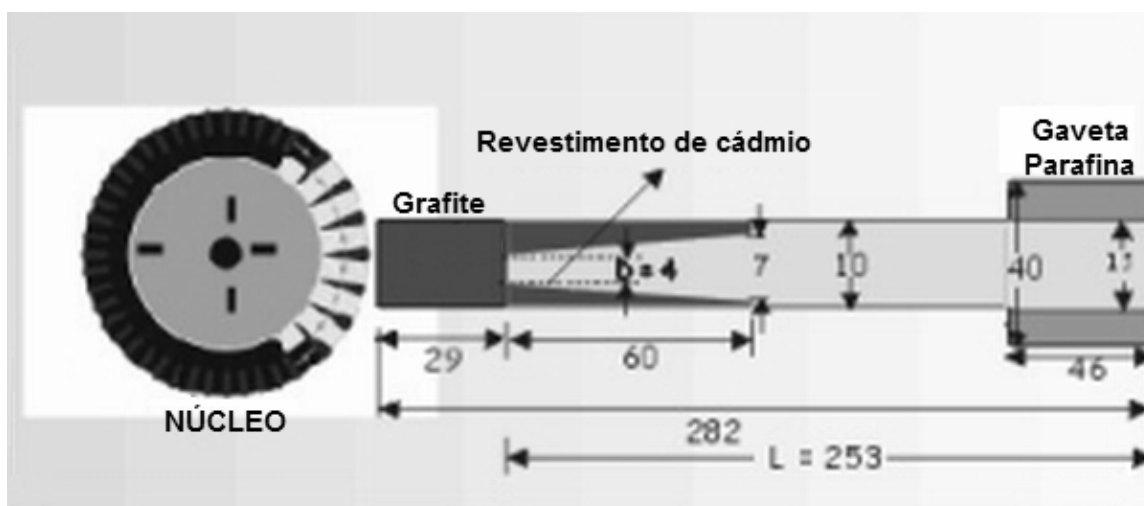


Figura 2.9 - Arranjo colimador-moderador no J-9 para obtenção de neutrongrafias e tomografias.

Na saída do canal principal J9 (figura 2.10 item a) estão instalados os sistemas para obtenção de imagens por tomografia e neutrongrafia (figura 2.10 item b).

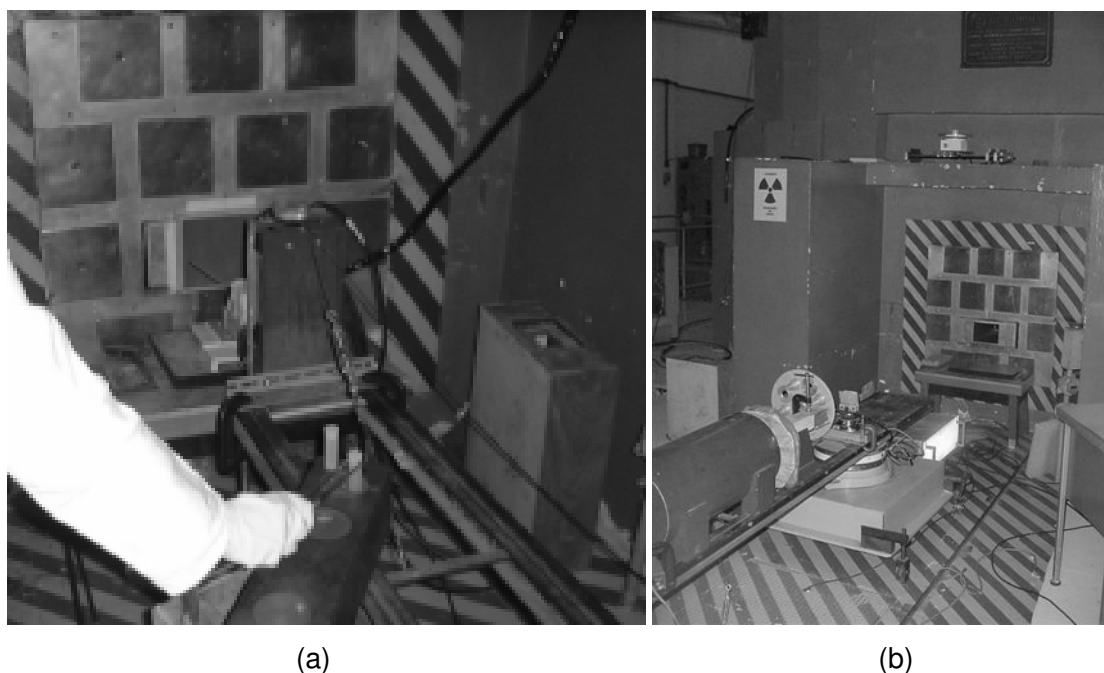


Figura 2.10 – (a) Coluna térmica externa; (b) Aparelho utilizado para neutrongrafia em frente à coluna térmica externa.

Estes canais de saída são uma das principais razões de cautela para os operadores enquanto estes transitam dentro da sala do reator, pois podem absorver doses relevantes de radiação ao cruzarem ou permanecerem dentro das áreas de atuação dos canais caso algum deles esteja aberto.

2.3.2.8 – Sistema hidráulico

O sistema hidráulico (figura 2.11) controla o fluxo da água de refrigeração no núcleo do reator, e fica localizado ao lado esquerdo do reator Argonauta.



Figura 2.11 - Sistema hidráulico, localizado ao lado do Reator Argonauta.

2.3.3 - Operação

O reator Argonauta é controlado por seus operadores através de uma mesa de controle (figura 2.12), localizada em uma sala adjacente à sala do reator, juntamente com outros equipamentos utilizados durante sua operação, como câmeras de vigilância, para observar se há alguma pessoa presente na sala do reator antes de começar a operá-lo. Na mesa de controle estão dispostos monitores, controles, informações de variáveis e alarmes necessários para a operação do reator. Durante sua operação, ninguém deve permanecer na sala do reator, sendo aceitas somente rápidas incursões na sala se possíveis e indispensáveis para os testes.

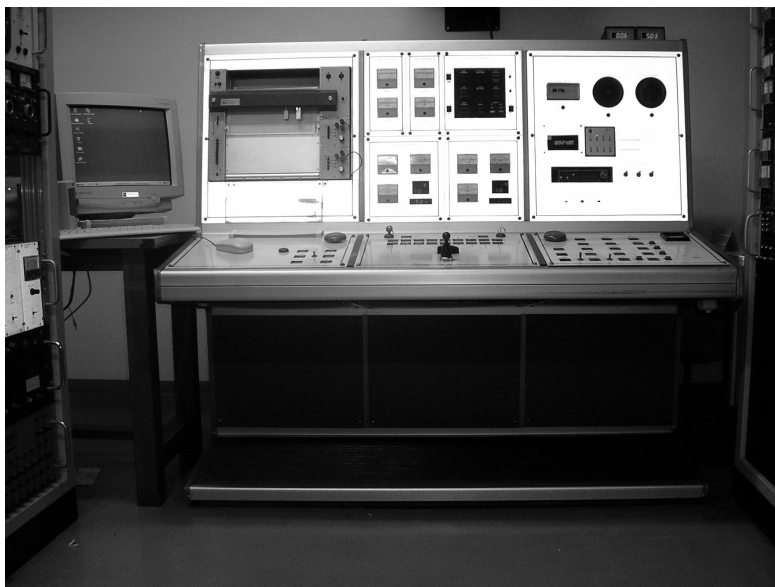


Figura 2.12 - Mesa de controle do reator Argonauta.

Todos que trabalham no setor devem sempre portar seus broches individuais com filmes dosimétricos, cujos filmes são periodicamente substituídos e levados para análise para obter-se o valor da dose absorvida por cada trabalhador. Os visitantes devem sempre utilizar um detetor interpessoal; no momento é utilizado um detetor chamado caneta dosimétrica, por ter a forma de uma caneta, no qual deve-se medir o valor indicado em seu ponteiro nos momentos de entrada e saída do setor. Estes valores são anotados em uma lista de visitantes juntamente com seus nomes.

2.3.4 – Aplicações atuais do reator Argonauta

Atualmente as principais atividades de pesquisa desenvolvidas pela equipe do SEREA envolvem basicamente as áreas de Física de Reatores, Técnicas Nucleares e Segurança Nuclear, incluindo-se o desenvolvimento de algoritmos e programas computacionais exigidos pelos trabalhos. Em parceria com a COPPE-UFRJ e CBPF-CNPq são

desenvolvidos trabalhos principalmente na utilização de técnicas nucleares para ensaios não destrutivos. Os resultados alcançados no último biênio foram divulgados em relatórios técnicos internos, periódicos e congressos científicos nacionais e internacionais. Há a prestação de serviços de produção de radioisótopos, de irradiações e de análises.

Na área de formação de recursos humanos, são administradas aulas, e há a colaboração com teses de mestrado e doutorado e o treinamento de operadores do reator.

Também é realizada a calibração de equipamentos que necessitam de um campo neutrônico para a realização da calibração, e são realizados testes de componentes para mesa de controle de reatores e monitores de área reativímetros.

CAPÍTULO 3

Realidade virtual

3.1.1 – Realidade virtual

Realidade Virtual é um termo usado para descrever um conjunto de tecnologias, técnicas e métodos de interfaces avançadas capazes de permitir a integração sensível entre o usuário e o computador, objetivando dar ao participante a máxima sensação de presença no mundo virtual, permitindo ao usuário explorar e interagir com um ambiente tridimensional através do computador, como se fizesse parte do mundo virtual. Em geral, refere-se a uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens gráficas tridimensionais geradas por computador em tempo real.

A Realidade Virtual também pode ser caracterizada pela coexistência integrada de três idéias básicas: imersão, interatividade e envolvimento. A imersão está ligada com o sentimento de estar dentro do ambiente, a interação é a capacidade do ambiente responder as ações do usuário em tempo real, e o envolvimento determina o grau de motivação do usuário com a atividade.

A Realidade Virtual começou na indústria de simulação após a Segunda Guerra Mundial, quando a Força Aérea dos Estados Unidos deu início à construção de simuladores de voo. Hoje, a Realidade Virtual é aplicada nas mais diferentes áreas do conhecimento humano, podendo atingir representações próximas da realidade. É considerada uma tecnologia com grande potencial e aplicabilidade em diversas áreas da engenharia para

visualização, treinamento, estudos ergonômicos, simulações e experimentações virtuais, e a cada dia são descobertos novos empregos para ela.

3.1.2 – Ambientes virtuais

Ambientes virtuais são cenários reproduzidos em Realidade Virtual onde, através de um avatar, é possível deslocar-se, interagir com objetos e elementos, e interagir com outros avatares. Neles é executada a simulação.

Uma descrição simples dos procedimentos executados pelo sistema de simulação de um ambiente virtual é a seguinte:

- O software carrega na memória do computador modelos tridimensionais de cenários, objetos e avatares, e as posições, orientações e proporções destes dentro de um espaço tridimensional virtual, criando na memória do computador um “mundo virtual”;
- O software exibe o ambiente virtual em uma tela de visualização, geralmente uma tela de grandes dimensões ou óculos com pequenas telas de exibição no lugar de lentes, criando uma “porta” ou “janela” para que o usuário possa visualizar o ambiente virtual e se conscientizar das mudanças provocadas por sua interação, geralmente utilizando para a visualização a perspectiva em 1ª pessoa em relação ao avatar;
- O software, por vezes em conjunto com um dispositivo homem-máquina especial, como luvas de realidade virtual, permite que o jogador possa navegar neste ambiente virtual e interagir com objetos presentes neste através do controle dos movimentos e ações do avatar dentro deste ambiente;
- O software controla as ações dos objetos presentes no mundo virtual que não são controlados pelo jogador,

- O software simula para os objetos e o avatar algumas leis da física, como colisão entre sólidos e gravidade.

3.1.3 – Avatar

Avatar é a entidade dentro do ambiente virtual que interage diretamente com o ambiente e representa a pessoa que o controla no mundo real. Um avatar pode possuir qualquer forma. Porém, por questão de bom senso, geralmente possui a forma de um ser humano com aparência relacionada ao cenário onde ele está presente. Para exemplificar, um ambiente virtual que reproduz uma instalação industrial geralmente possui um avatar com a aparência de um homem ou mulher adultos trajados como típicos trabalhadores da mesma instalação.

Em softwares de realidade virtual, para tornar mais simples a detecção de colisão entre o avatar e outros objetos no cenário, o avatar é sobreposto por um paralelepípedo ou cilindro invisível, que envolve totalmente o modelo 3D do avatar, e que se desloca juntamente com ele. A detecção de colisão entre o avatar e o cenário e seus objetos é realizada com este paralelepípedo ou cilindro, um objeto muito mais simples geometricamente que o modelo 3D do avatar.

Em jogos, ambientes virtuais e avatares geralmente reproduzem cenários e personagens típicos de obras de ficção e fantasia, pois são voltados para o entretenimento. Em sistemas de Realidade Virtual orientados para aplicações científicas e industriais, geralmente reproduzem cenários e personagens baseados no mundo real, como uma instalação industrial e trabalhadores típicos de tal instalação.

3.1.4 - Aplicação

A realidade virtual é uma opção vantajosa para o treinamento de atividades exercidas em áreas de risco, como em instalações industriais. Apresentam-se as seguintes vantagens:

- não apresenta riscos para a saúde;
- permite o treinamento de diversas situações, especialmente situações incomuns, que envolvam procedimentos delicados ou que envolvam risco para vidas humanas;
- permite melhor visualização, avaliação e planejamento das tarefas a serem executadas;
- permite a avaliação das ações e do desempenho dos trabalhadores, visando a melhora do rendimento das atividades e a diminuição das falhas e dos riscos nas atividades.

No caso de instalações nucleares, que se enquadram no caso de estudo desta tese e contém áreas sujeitas a níveis elevados de radiação, as chamadas áreas quentes, apresentam-se as seguintes vantagens:

- permite o treinamento sem realmente expor os trabalhadores à radiação;
- permite o treinamento de diferentes cenários de operação de diferentes instalações nucleares, especialmente os cenários incomuns ou não possíveis, como a recarga do elemento combustível de um reator, ou uma operação em uma instalação ainda não construída ou ainda não operante;
- permite a visualização da distribuição da radiação nas áreas quentes da instalação, importante para uma maior conscientização dos trabalhadores durante a execução de suas tarefas;
- permite a avaliação e planejamento das tarefas de forma a evitar ou diminuir as doses de radiação às quais os trabalhadores serão expostos.

3.2 – Núcleos de jogos

3.2.1 – Descrição de núcleos de jogos

Núcleo de jogo ou game engine é o componente central do software que compõe jogos eletrônicos, podendo também ser adaptado e utilizado, caso o núcleo seja sofisticado o bastante, para outras aplicações que necessitem de gráficos gerados em tempo real. Ele tipicamente fornece os recursos mais necessários para a criação de um jogo, principalmente um núcleo de renderização de gráficos em tempo real, acompanhado de funções de detecção de colisão e/ou um núcleo de física, podendo também fornecer diversos recursos adicionais.

Para auxiliar o desenvolvimento, os núcleos modernos são acompanhados de ferramentas integradas de criação e edição de conteúdo, como editores de cenários e interpretadores de scripts para a programação de funções para novos jogos e aplicações.

3.2.2 – Funções e benefícios

As principais funções oferecidas por núcleos de jogos são:

- núcleo de renderização de gráficos (rendering engine), gera a imagem visualizada pelo jogador/usuário como referência para este interagir com a simulação. Podem ser divididos entre dois tipos: núcleos de gráficos 2D, que geram as imagens a partir da composição de gráficos bidimensionais (bitmaps), como era o caso da maioria dos jogos mais antigos; e núcleos de gráficos 3D, que geram as imagens a partir da visualização em perspectiva dos modelos tridimensionais do cenário e dos objetos presentes na simulação. A imagem

visualizada pode ser alterada pelo jogador/usuário conforme ele interagir com a simulação, como por exemplo movendo o avatar;

- funções de detecção de colisão (collision detection) entre objetos/objetos e objetos/cenário, e núcleo de física (physics engine) para simulação de física, principalmente gravidade, para reproduzir no ambiente virtual algumas leis da física, embora com certas limitações e simplificações, devido à complexidade dos cálculos e quantidade de informações que seriam necessárias para uma reprodução mais fiel;
- reprodução de efeitos sonoros com som posicional, reproduzindo no volume dos canais de som a sensação de distância e posição entre as fontes de sons e o avatar;
- animações 3D utilizando o núcleo de renderização em conjunto com cenários, objetos, avatares e câmeras, com ações e movimentos pré-programados para os objetos, avatares e câmeras;
- reprodução de vídeos, para ajudar a apresentar o enredo da história do jogo;
- reprodução de músicas, para adicionar ambientação aos cenários e entreter os usuários;
- comunicação com outras cópias do núcleo em execução em outros computadores através de uma rede, para que um grupo de usuários possa interagir juntamente em um mesmo cenário, podendo haver colaboração ou oposição de objetivos entre os usuários (multiplayer game);
- interpretadores de scripts, para a adição ou modificação de funções ao jogo, permitindo desde pequenas modificações até jogos completamente novos;
- Inteligência Artificial, tipicamente utilizada para “dar inteligência” aos adversários controlados pelo computador, de forma a tornar o jogo mais interessante;
- outras funções comuns a softwares de uma maneira geral, como criação de processos, acesso e interpretação de arquivos, alocação e gerência de memória, geração de gráfico de cena (scene graph), entre outros.

Benefícios comuns aos núcleos de jogos são:

- a abstração de plataforma, possibilitando que o jogo seja “portado” para outras plataformas com poucas (ou nenhuma) mudanças em seu código-fonte, desde que haja uma versão compatível do núcleo de jogo para a plataforma alvo;
- a reusabilidade do núcleo, simplificando o desenvolvimento de novos jogos e aplicações, focando mais tempo no desenvolvimento do conteúdo do jogo, como enredo, arte, modelagem 3D e composição de músicas e efeitos sonoros, e menos na programação do jogo, economizando tempo e custos.

Núcleos modernos também possuem extensibilidade e flexibilidade. Os núcleos antigos, ao serem utilizados para a criação de novos jogos, necessitavam que os desenvolvedores compilassem seus códigos-fonte juntamente com as adições e modificações desejadas, como o núcleo id Tech 1, utilizado no jogo Doom 1 (WIKIPEDIA, 2008). Nestes casos os núcleos só possuíam flexibilidade na forma de código-fonte. Por outro lado, os núcleos modernos mais comuns não necessitam que os desenvolvedores os compilem juntamente com as adições e modificações desejadas, como o Unreal Engine. Nestes casos os núcleos são projetados para possuir extensibilidade e flexibilidade já na forma compilada, com os benefícios de:

- proteger a propriedade intelectual do desenvolvedor do núcleo, ao não disseminar seu código-fonte para terceiros;
- simplificar a criação de novos jogos tanto para os desenvolvedores dos núcleos como para terceiros, fazendo-os focar esforços no conteúdo, como modelos 3D, animações, lógica de jogo, música, enredo, etc.;
- permitir que o núcleo seja adaptado por terceiros para uma ampla variedade de usos, como aplicações científicas.

3.2.3 - Distinção entre núcleos de jogos 3D e núcleos de renderização 3D

Núcleos que fornecem apenas a renderização de gráficos 3D em tempo real são chamados de núcleos de renderização 3D ou núcleos de gráficos 3D, ao invés de núcleos de jogos. Núcleos de renderização 3D não necessariamente oferecem outros recursos além deste, mas podem ser combinados com outros tipos de núcleos para realizar tarefas mais complexas, como núcleos de física para realizar simulações. Podem ser utilizados para diversos propósitos além de jogos, como animações e simulações. Núcleos de jogos 3D, por outro lado, necessariamente incorporam núcleos de renderização 3D. Um exemplo de um núcleo de renderização 3D é o OGRE 3D.

3.2.4 – Núcleos de jogos de tiro em primeira pessoa

Os núcleos de jogos de tiro em primeira pessoa (first person shooter game engine), como Quake, Unreal Tournament 2004, Doom 3 e Far Cry podem ser considerados sistemas de realidade virtual pela combinação das detalhadas e sofisticadas simulações visuais somadas às realistas simulações físicas realizadas. O custo para o desenvolvimento de núcleos de jogos tão sofisticados e elaborados é alto, e requerem um grande investimento em termos de tempo, dinheiro mão de obra especializada. Estes núcleos chegam a se equiparar aos sistemas considerados profissionais, e além disso funcionam em computadores pessoais comuns, não exigindo caríssimas estações gráficas. Os núcleos de jogos de tiro em primeira pessoa geralmente são os mais sofisticados em termos de desenvolvimento tecnológico, passando por constantes evoluções (figura 3.1), sendo os primeiros a incorporar ou demonstrar as mais recentes inovações no campo de gráficos 3D (figura 3.2).



Figura 3.1 – Evolução do avatar utilizado no Unreal Engine 1 (1998), 2 (2002) e 3 (2006).



Figura 3.2 - Adversário controlado pelo computador no jogo Gears Of War (Xbox 360), renderizado no Unreal Engine 3, demonstrando o alto nível de sofisticação do engine.

3.2.5 - Middleware

Desenvolvedores podem criar diversos elementos típicos necessários para o desenvolvimento de um jogo, como gráficos, sons, física e IA, e armazená-los em uma biblioteca para reutilização em outros projetos. Essa possibilidade levou grupos a desenvolverem bibliotecas especializadas em tarefas específicas.

Middleware, na área de núcleos de jogos, é um tipo de software desenvolvido para uso em um núcleo, normalmente programado por uma companhia que não a que desenvolveu o núcleo de jogo, fornecendo determinados recursos já prontos com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento de jogos e aplicações no núcleo. Um middleware pode ser incorporado a um núcleo tanto na forma de código-fonte como na forma de referências a uma API, no caso do middleware estar presente na forma de uma biblioteca pré-compilada.

Outra possibilidade é o núcleo de jogo ser na verdade uma agregação de middlewares, acrescentando o que falta para reuni-los em uma aplicação usável pelos desenvolvedores. Os motivos para se desenvolver um núcleo desta forma são o desenvolvimento mais rápido do núcleo, uma vez que não é mais preciso programar da estaca zero cada componente do núcleo, e o núcleo final ser mais robusto e sofisticado, uma vez que a equipe que desenvolveu o componente concentrou esforços em seu desenvolvimento e buscou torná-lo o mais completo e sofisticado possível.

Middlewarees podem ser especializados em uma função específica e nestes casos podem se desempenhar melhor em suas funções do que os recursos equivalentes já presentes nativamente no núcleo.

Como exemplo, o middleware SpeedTree (figura 3.3) é especializado na criação de vegetações, como arbustos, árvores e florestas. A alternativa comum para criar uma floresta em um núcleo seria criar manualmente os modelos 3D das árvores, ou utilizar uma biblioteca de modelos 3D, e povoar o cenário. Um dos efeitos negativos desta alternativa seria a percepção de que todas as árvores são iguais umas às outras, uma vez que a floresta foi povoada por diversas cópias dos mesmos modelos 3D, e o nível de realismo do modelo 3D das árvores. Utilizando o middleware SpeedTree, que é capaz de gerar modelos 3D realistas de árvores de maneira aleatória baseando-se em determinados parâmetros de entrada, é possível criar uma floresta mais realista, não só por cada árvore ser diferente uma da outra, como no mundo real, mas pelas árvores possuírem formas mais realistas.



Figura 3.3 - Uma floresta gerada pelo middleware SpeedTree.

3.3 – O núcleo de jogo Unreal Engine

O software de ambiente virtual escolhido para cumprir o objetivo proposto nesta tese foi o Unreal Engine, um núcleo de jogo capaz de ser modificado para se adaptar às necessidades deste projeto.

3.3.1 – Justificativas da escolha

A escolha deste núcleo de jogo deve-se a diversos fatores:

- É gratuito, no caso da versão utilizada nesta tese, devendo-se apenas obedecer às condições descritas na licença, como não utilizá-lo para criar jogos. Softwares de simulação do mundo real geralmente são muito caros.
- Possui um núcleo 3D de boa qualidade e performance, produzindo ambientes virtuais com qualidade visual e realismo o suficiente para o objetivo (possui colisão entre sólidos, gravidade, etc.).
- Vem acompanhado do UnrealEd (figura 3.4), o programa de modelagem de cenários para o núcleo. O UnrealEd possui algumas características positivas, como uma interface intuitiva, um aprendizado rápido, e a pré-visualização de cenários durante a etapa de modelagem. O UnrealEd permite, através de primitivas geométricas como cubos, cilindros e esferas, a criação tanto de cenários (como o interior de uma sala de estar) como de objetos que povoam estes cenários (como mesas e sofás presentes em uma sala de estar). O UnrealEd também permite a utilização de modelos gerados em outras ferramentas de modelagem 3D.
- Utiliza avatares para representar os usuários no ambiente virtual, e permite a utilização de avatares criados pelos usuários, embora a criação de avatares dependa de outros softwares além do Unreal e do UnrealEd.

- Possui um interpretador de uma linguagem de script própria chamada UnrealScript, que é orientada a objeto e similar a Java. Códigos escritos em UnrealScript compõem grande parte do núcleo e são acessíveis ao usuário. Graças a isto, o núcleo possui um alto nível de customização, sendo possível modificar funções, ajustar propriedades, e até mesmo acrescentar novas funções. Pode-se adicionar novos scripts ao núcleo para complementar a simulação, ajustar características da simulação do avatar, alterar a interface gráfica do Unreal, entre outras possibilidades.
- É popular, o que torna mais fácil a obtenção do esclarecimento de dúvidas sobre o software através da internet e de outras fontes de informação.

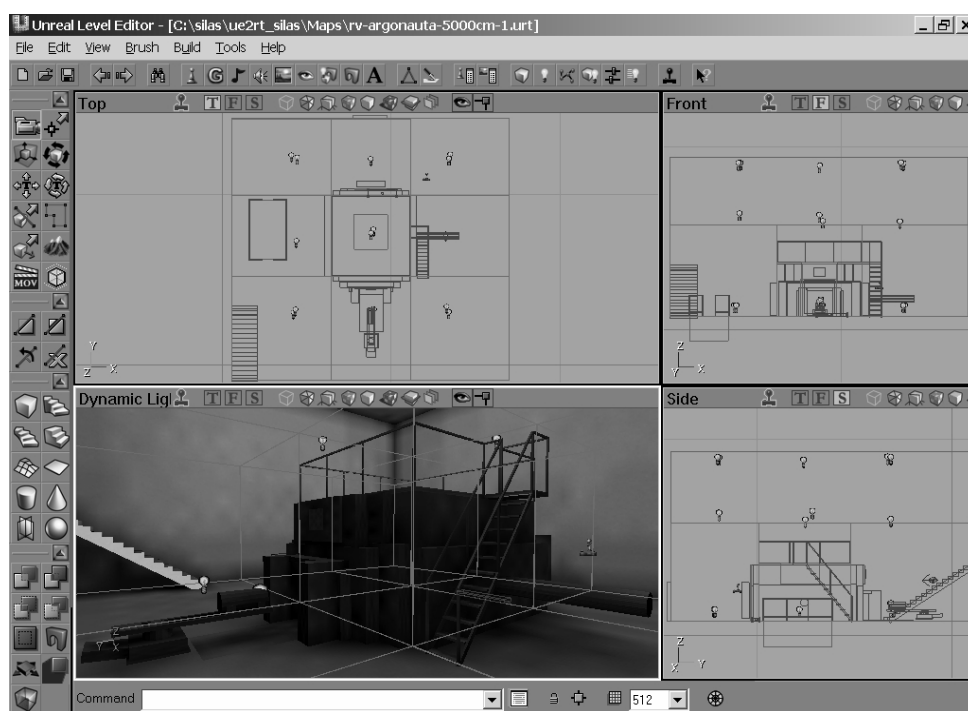


Figura 3.4 - Editor UnrealEd editando modelo do reator Argonauta.

3.3.2 – Relação custo/benefício

Um fator decisivo foi a relação custo/benefício. O Unreal Engine é um núcleo de jogo bem completo, possuindo muitas das características dos sistemas de realidade virtual profissionais, cujas licenças possuem valores elevadíssimos, porém pode ser usado livre de custos em aplicações sem fins comerciais. Por este e outros motivos citados anteriormente, o Unreal Engine é uma opção interessante para o treinamento, o desenvolvimento de testes para novas técnicas ou mesmo pesquisas de mestrado ou doutorado. Além disso, a experiência ganha com o uso e desenvolvimento no Unreal Engine pode ser reaproveitada em outros sistemas de realidade virtual.

3.3.3 - UnrealScript

Um dos recursos mais importantes do Unreal Engine é o UnrealScript, uma linguagem de scripts similar a Java que segue o padrão de orientação a objeto, utilizando classes, objetos, atributos, métodos, herança, etc.

O Unreal Engine, a nível de software que compõe o núcleo, pode ser dividido em duas partes:

- O código programado em C++, adaptado e compilado para uma plataforma e sistema operacional específicos. Realiza as tarefas de baixo nível, como renderizar os gráficos, alocar memória e acessar arquivos, e interpretar e executar os scripts escritos em UnrealScript, podendo neste aspecto ser comparado a uma máquina virtual. Esta parte programada em C++ não é modificável a nível de código pelo usuário, podendo ser apenas configurada através de seus arquivos de configuração, o que permite a flexibilidade de determinados aspectos do núcleo.

- Os scripts programados em UnrealScript, uma linguagem exclusiva do núcleo, de alto nível, orientada a objeto e semelhante a Java. Compõe grande parte do código necessário para a criação dos jogos neste núcleo. Nesta linguagem são programadas as regras, os eventos, todo o funcionamento do jogo. Utilizando o compilador UCC, que também acompanha o núcleo, o usuário pode compilar os scripts em UnrealScript na forma de bytecode, para serem interpretados e executados pelo núcleo. Mesmo na forma de bytecode, os scripts em UnrealScript podem ser revertidos para sua forma anterior, para que o usuário possa estudá-los. Graças a isto, o usuário pode programar novos scripts e modificar e excluir scripts já existentes, modificando e adaptando o funcionamento do núcleo para novos fins. Esta possibilidade é até mesmo encorajada pela Epic Games, a desenvolvedora do Unreal Engine, pois permite que hobbystas aprendam como funcionam diversas características do jogo e possam modificá-lo, ou criar novo conteúdo para uso com o núcleo, o que preserva o interesse do usuário em utilizar o software. Um importante ponto de venda para softwares, especialmente jogos, é estes manterem em seus usuários interesse em utilizá-los pelo maior tempo possível.

O núcleo já vem acompanhado por uma série de classes necessárias para a construção de jogos, sendo que o Unreal Engine 2 Runtime vem acompanhado de um conjunto mais básico, enquanto que jogos comerciais vem acompanhados de diversas classes a mais, necessárias pelos jogos.

Graças à divisão entre código nativo de plataforma e UnrealScript, o Unreal Engine está disponível em várias plataformas: Windows, Mac OS X, Linux e consoles de videogame.

3.4 – LabRV - Laboratório de Realidade Virtual

3.4.1 – Descrição do LabRV

O Laboratório de Realidade Virtual do Instituto de Engenharia Nuclear, o primeiro em seu gênero na área nuclear brasileira, está sendo capacitado para realizar treinamentos, simulações e experimentações relacionados à área nuclear utilizando um sistema de projeção baseado em estereoscopia, que permite a sensação de imersão em um ambiente virtual.

3.4.2 – Sistema de projeção

O sistema de projeção utilizado no laboratório usa estereoscopia passiva de imagens polarizadas. Utilizam-se dois projetores com filtros polarizadores, cada um para gerar separadamente a imagem destinada a cada um dos olhos humanos, e óculos com lentes também polarizadoras, para que cada olho observe somente a imagem destinada a ele. A projeção é por trás da tela de exibição, para permitir que os usuários possam se aproximar da tela sem produzir sombras na projeção.

Neste sistema são utilizados:

- Dois projetores de tecnologia DLP (figura 3.5 item a), para gerar separadamente as imagens destinadas a cada um dos olhos humanos;
- Dois filtros polarizadores, um para cada projetor, orientados em direções perpendiculares entre si (um na “orientação vertical” e outro na “orientação horizontal”);

- Um espelho, para refletir a imagem dos projetores em direção à tela, com o objetivo de diminuir o espaço necessário para a projeção atrás da tela, visto que há limitação na abertura das lentes dos projetores e o tamanho da imagem projetada é proporcional à distância entre os projetores e a tela;
- Uma tela de projeção antirefrativa (figura 3.6) que permite projeção por trás da tela e que mantém a polarização das imagens projetadas pelos projetores;
- Óculos com filtros polarizadores distintos para cada vista (figura 3.5 item b), também orientados perpendicularmente entre si que, combinados com os filtros nos projetores, fazem com que cada vista só consiga enxergar a imagem do projetor que utiliza o filtro orientado na mesma direção que o filtro utilizado na vista;
- Um sistema de som tipo home theater ligado à saída de áudio do computador, com 5 canais de áudio (frontal, frente-esquerda, frente-direita, trás-esquerda, trás-direita) e um canal para os sons graves;
- Um computador utilizando uma placa gráfica com duas saídas gera as imagens, uma para cada projetor;
- Um dispositivo de interface para navegação 3D (spaceball).



(a)



(b)

Figura 3.5 – (a) Projetores com filtros polarizadores; (b) Óculos com lentes polarizadoras.

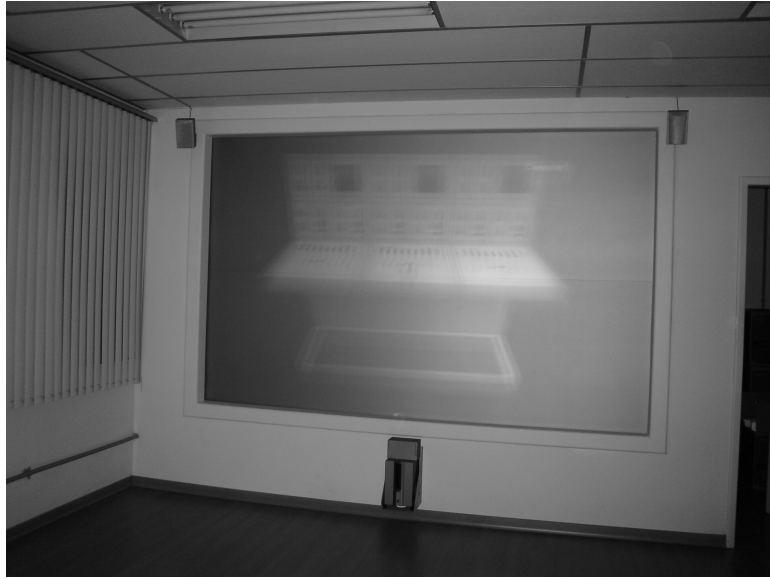


Figura 3.6 - Tela de projeção do LabRV projetando imagem em estéreo da mesa de controle virtual; observe-se as caixas do sistema de som em volta de tela.

CAPÍTULO 4

Metodologia e desenvolvimento

4.1 – Metodologia

A metodologia utilizada consiste em uma série de modificações e adaptações no núcleo de jogo Unreal Engine 2 Runtime, capacitando-o a simular a circulação de indivíduos em instalações nucleares (figura 4.1). O núcleo de jogo torna-se capaz de simular a monitoração das doses de radiação absorvidas ao longo do tempo pelos indivíduos presentes nas instalações durante operações típicas, e de exibir os dados desta monitoração na tela durante a simulação, em tempo real.



Figura 4.1 - Reprodução virtual de instalação nuclear utilizando o Unreal Engine 2 Runtime.

Neste tipo de simulação, a distribuição das doses de radiação é simulada no ambiente virtual. Referências (RÓDENAS, J., ZARZA, I., *et al.*, 2004, 2005) mostra um projeto semelhante. Há referências para outros projetos desenvolvidos por outros grupos de pesquisa (VERMEERSCH, F., NIJS, R., 2005, 2005) (KIM, Y. H., PARK, W. M., 2004); HAJEK, B., KANG, K., *et al.*, 2004, LEE, D. J., SALVE, R., ANTONIOLE *et al.*, 2001, Knight *et al.*, 1997). Mais informações sobre cada um destes grupos de pesquisa podem ser encontradas nas indicações de suas respectivas referências.

A distribuição de dose de radiação pode ser:

- obtida através de dados de monitorações de dose experimentais, como em (Ródenas *et al.*, Ródenas *et al.*, 2004), e utilizando levantamentos dosimétricos,
- computada, como em (VERMEERSCH, F., NIJS, R., 2005, KNIGHT, T. W., DALTON, G. R., ET AL., 1997), e através de cálculos realizados com informações sobre a instalação,
- uma combinação dos dois métodos, utilizando medições disponíveis para alguns locais e utilizando taxas de dose calculadas para fontes de radiação presentes no ambiente.

4.1.1 – Características do Unreal que o permitem realizar o tipo de simulação desejado

O núcleo de jogo Unreal Engine 2 Runtime possui determinadas características que o capacitam a realizar o tipo de simulação desejado:

- O Unreal vem acompanhado do UnrealEd, um programa que possibilita a modelagem de novos cenários e dos objetos que os povoam para novas simulações.
- O Unreal utiliza avatares para representar os usuários no ambiente virtual, e permite que os usuários criem novos avatares. A utilização de avatares é necessária, pois o tipo de atividade que deseja-se simular pode contar com a participação de mais de um indivíduo.

Além disso, na perspectiva em 3ª pessoa, o usuário pode observar mais claramente a posição do avatar no ambiente virtual do que na perspectiva em 1ª pessoa, uma característica importante para a simulação realizada. E com a flexibilidade na criação de avatares, é possível criar avatares contextualizados à simulação realizada, como um indivíduo utilizando uma roupa protetora contra radiação em uma simulação em uma instalação nuclear.

- O Unreal possui um interpretador de uma linguagem de script chamada UnrealScript. Grande parte do núcleo é composto por códigos escritos em UnrealScript. Como estes códigos são acessíveis ao usuário, é possível customizar o núcleo modificando funções, ajustando propriedades e até mesmo acrescentando novas funções. Pode-se assim criar novas funções para simular a absorção de dose de radiação pelos avatares.

- Graças ao UnrealScript, é possível ajustar características da simulação do avatar, como por exemplo a velocidade do movimento e a área de colisão do avatar. Isto permite ajustar a simulação do avatar de forma a reproduzir o ser humano de maneira mais fiel, tornando a simulação mais realista.

- Também graças ao UnrealScript, é possível alterar a interface gráfica do Unreal. Nos menus pode-se acrescentar elementos previamente não disponíveis na interface, como configurações para o uso do Unreal em rede, e ocultar elementos não relevantes para a simulação desejada, tornando sua interface mais objetiva. A HUD (head-up display) (Wikipedia, 2008), que apresenta informações na tela durante as simulações, pode ser modificada para exibir informações importantes como os nomes dos avatares e as doses de radiação absorvidas por eles até o momento.

4.1.2 – Modelagem de cenários para simulações

Na ferramenta de modelagem UnrealEd, os cenários de instalações nucleares devem ser reproduzidos cuidadosamente em escala, mantendo-se as proporções, de forma que a proporção entre o cenário e o avatar seja a mesma que a proporção entre as instalações e um indivíduo de estatura média (nesta tese, a estatura média utilizada foi de 1,70 m). É importante e preferível ter como referências as fotos e plantas com medidas da instalação. A reprodução de objetos presentes no cenário é importante para a realização de simulações e para dar realismo aos cenários.

4.1.3 - Ajustes nas características padrão do avatar

Para realizar as simulações, deve-se ajustar no Unreal através de códigos em UnrealScript diversas características padrão do avatar, alterando-as de forma a tornar mais realista sua simulação no ambiente virtual. Entre estas características estão:

- a sua velocidade de deslocamento no cenário;
- a sua área de colisão;
- como ele interage com “obstáculos físicos” no cenário;
- como ele sobe e desce escadas no cenário;
- como ele interage com “dispositivos” no cenário, como interruptores e portas;
- as animações do modelo 3D do avatar, de acordo com as ações executadas pelo usuário.

Duas características importantes são a velocidade de deslocamento do avatar no cenário e as dimensões da área de colisão do avatar. A velocidade de deslocamento é importante pois o objetivo é simular o trânsito de indivíduos em instalações nucleares. Se o avatar se deslocar mais rápido ou mais devagar do que um indivíduo normalmente se deslocaria no

mundo real, a simulação se distanciará do realismo desejado. A área de colisão é importante pois deve permitir ou restringir o movimento do avatar da mesma forma que as dimensões de um indivíduo permitiriam ou restringiriam seu movimento no mundo real. Por exemplo, dois avatares devem poder atravessar uma passagem no cenário ao mesmo tempo se isso for possível no mundo real, com indivíduos e passagem com dimensões correspondentes às da simulação.

4.1.4 – Ajustes na interface gráfica

Também deve-se ajustar a interface gráfica do Unreal, novamente através de códigos em UnrealScript. Primeiramente deve-se ajustar a HUD (head-up display), a interface exibida durante as simulações, pois ela precisa exibir informações importantes como:

- o nome dos avatares presentes no cenário da simulação;
- a dose de radiação absorvida até o momento por cada avatar;
- a taxa de dose de radiação do local no qual o avatar está;
- a taxa de dose de radiação de diversos locais da instalação nuclear;
- instruções orientando as próximas ações dos usuários.

Em seguida, pode-se ajustar o resto da interface gráfica do Unreal. Neste caso, os menus, opções e botões exibidos devem ser relevantes para a simulação ao invés de jogos, exibindo elementos relevantes previamente não presentes e ocultando elementos não relevantes para simulações. Assim a interface gráfica se tornará mais objetiva para a realização de simulações. Os elementos da interface gráfica também podem ser traduzidos para o português.

4.1.5 – Adição de simulações ao Unreal para a realização de simulações

O Unreal é projetado originalmente para realizar determinadas simulações típicas em jogos, como simulações de colisão entre objetos sólidos e de gravidade. Para ser utilizado para simulações de trânsito de indivíduos em instalações nucleares, é necessário que o Unreal também realize simulações originalmente não existentes no núcleo, como:

- fonte de radiação pontual, com valor de dose inversamente proporcional à distância da fonte;
- área com radiação, com valor de dose uniforme ao longo da área, utilizada em conjunto com dados de levantamentos dosimétricos para reproduzir grade de levantamento dosimétrico;
- alarme sonoro de emergência acionável por avatar, utilizado em simulações de evacuação de instalações.

Através da programação de scripts em UnrealScript, é possível adicionar tais simulações ao núcleo.

4.1.6 – Dados de dose de radiação do cenário a ser simulado

Para realizar a simulação da absorção de doses de radiação pelos avatares em um cenário, é preciso possuir informações sobre as taxas de dose de radiação deste cenário a ser simulado. Pode-se obter estas informações de algumas formas:

- Pode-se utilizar os dados de taxa de dose de fontes de radiação pontuais presentes no cenário.
- Por fim, pode-se utilizar informações recebidas em tempo real de sensores de monitoração localizados na instalação nuclear na qual o cenário se baseia.

4.2 – Desenvolvimento

O Unreal passou por modificações e ajustes através da substituição, alteração e acréscimo de classes programadas em UnrealScript, a fim de substituir as versões originais de determinadas classes e acrescentar novas classes ao conjunto original do núcleo. Foram ajustadas propriedades padrão de classes relacionadas ao avatar, modificadas classes relacionadas à interface gráfica do núcleo, e criadas novas classes necessárias para a simulação, como a classe que simula uma área com dose de radiação, e o contador de radiação que contabiliza a dose absorvida pelo avatar. Também foram ajustados arquivos de configurações iniciais do núcleo, de forma a fazer o núcleo utilizar as classes modificadas ou criadas.

4.2.1 - Classes criadas

- RVAlarme.uc: ativa ou desativa um alarme sonoro no cenário. Implementada para simular sirenes de emergência em cenários onde simula-se a evacuação da instalação em casos de acidente.

- RVMapSound.uc: gera no cenário o som controlado pela classe RVAlarme.

- RVAreaPontual.uc: simula uma fonte de radiação pontual onde, uma vez dentro do volume tridimensional de atuação de RVAreaPontual, não só as doses de radiação são incrementadas ao longo do tempo como os valores das doses são inversamente proporcionais à distância do centro da área. Ou seja, quanto mais perto o avatar estiver do centro da área, maiores serão as doses acumuladas por segundo.

- RVAreaQuente.uc: simula um volume tridimensional com dose de radiação, com um valor de dose de radiação uniforme por todo o volume. É utilizada em conjunto com dados de um levantamento dosimétrico para reproduzir a grade do levantamento dosimétrico.
- RVPawn.uc: define os métodos e atributos do avatar modificado utilizado para as simulações.
- RVBoy.uc e RVGirl.uc: define para o avatar os modelos 3D de um homem ou de uma mulher respectivamente.
- RVHUD.uc e RVScoreBoard.uc: juntas definem as características e informações exibidas na HUD, como nome do avatar, doses de radiação gama, de nêutrons e total. A HUD torna-se visível durante a simulação ao pressionar-se a tecla F1 no teclado.
- RVController.uc: define algumas características da animação do avatar.
- RVGameInfo.uc: define o uso das classes RVHUD, RVScoreBoard e RVController ao invés do uso das classes originais, nas quais estas foram baseadas (HUD, ScoreBoard e Controller).
- Diversas classes do grupo RTInterface: definem diversos menus da interface do runtime.

A seguir segue-se um diagrama da estrutura de classes (figura 4.2). As classes originais são exibidas na cor cinza, e as classes criadas ou modificadas são exibidas na cor branca.

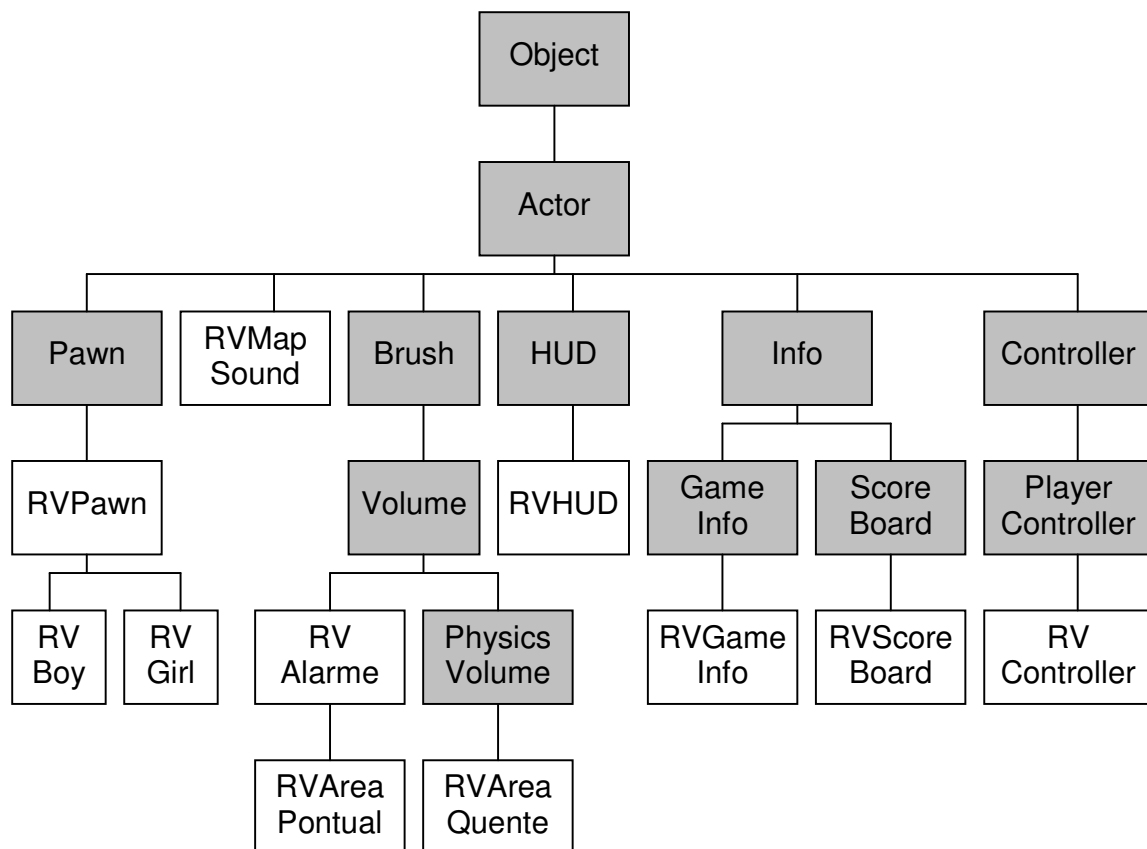


Figura 4.2 - Estrutura de classes.

4.2.2 – Descrição e utilização da classe RVAreaQuente

Uma das mais importantes adições para a realização de simulações com o núcleo foi a criação das classes RVAreaPontual e RVAreaQuente, que simulam volumes com níveis de radiação, representadas nos cenários através de volumes circulares, no caso de RVAreaPontual, e de volumes em forma de paralelepípedo, no caso de RVAreaQuente, e que são invisíveis durante a simulação.

O script da classe RVAreaQuente é baseado no script de uma outra classe já existente no núcleo, chamada LavaZone, utilizada em jogos de ação desenvolvidos no núcleo. LavaZone simula em seu volume um meio líquido nocivo ao avatar, como lava, água fervente ou ácido. Se o cilindro de colisão do avatar estiver superposto a neste volume, o valor da variável da “energia vital” do avatar gradativamente diminuirá em um determinado valor ao longo do tempo.

A nova classe RVAreaQuente não simula um meio líquido. Ao avatar “entrar” neste meio, não haverá para o usuário quaisquer indicativos de que o avatar está “dentro” de uma RVAreaQuente. Indicativos não são desejáveis porque a radiação é um fenômeno que não pode ser percebido pelos sentidos humanos. Enquanto o avatar estiver “dentro” de uma RVAreaQuente, duas variáveis serão alteradas, uma para armazenar a dose acumulada de radiação gama e outra para armazenar a dose acumulada de nêutrons. Estas variáveis serão acrescidas dentro de um determinado espaço de tempo em valores informados pela instância específica de RVAreaQuente na qual o avatar está “dentro”, ao invés de serem acrescidas nos valores universais da classe, como seria no caso de LavaZone. Assim, áreas diferentes podem incrementar em valores diferentes as duas variáveis que armazenam as doses de radiação.

As características de RVAreaQuente forçam o usuário do sistema a ficar atento a que partes do cenário percorre com seu avatar, pois as RVAreaQuente não são perceptíveis durante a simulação. Elas forçam o usuário a depender de seu conhecimento prévio do cenário e dos locais neste onde há níveis relevantes de radiação, e também a observar com atenção os valores dos níveis de radiação instantâneos informados na tela, de maneira similar ao uso de monitores instantâneos de dose de radiação em situações reais.

As RVAreaQuente são inseridas e dispostas no cenário e tem seus valores e formas alterados através do editor de cenários UnrealEd, de forma a reproduzir uma grade que representa um levantamento dosimétrico previamente realizado na instalação nuclear reproduzida no cenário. Os seguintes passos são seguidos:

- Primeiramente, reproduz-se a instalação em um cenário no editor UnrealEd.
- Realiza-se o levantamento dosimétrico da instalação nuclear reproduzida no cenário. Os dados do levantamento dosimétrico são adaptados em uma grade, que representa o volume físico da instalação, com cada célula da grade devidamente identificada e informando especificamente suas dimensões (no caso de grades com células com tamanhos diferentes) e seus valores de doses de radiação.
- No UnrealEd, instâncias de RVAreaDose são inseridas, dispostas e redimensionadas no cenário de forma a reproduzir a grade que representa o levantamento dosimétrico. As RVAreaDose possuem por padrão forma cúbica, mas podem ser livremente redimensionadas em outras formas cúbicas, e devem ser cuidadosamente dispostas de forma a reproduzir a grade, encaixando-se umas às outras, sem se sobreporem e sem deixarem espaços vazios entre elas, para evitar a criação de espaços vazios na grade onde se deveria incrementar, mas não incrementam-se, as variáveis de dose de radiação.
- Após a reprodução da grade no cenário, os valores padrão de dose de radiação gama e de nêutrons de cada instância de RVAreaDose são alterados para os valores das células correspondentes na grade de levantamento dosimétrico.

4.2.3 – Descrição dos ajustes nas propriedades padrão do avatar

O Unreal Engine 2 Runtime originalmente não vem com um avatar. Caso seja habilitada a visão em terceira pessoa, onde se observa o avatar por trás, se observará que o avatar é

representado por um simples e pequeno cubo flutuando acima do chão do cenário.

Portanto, o primeiro ajuste no núcleo relacionada ao avatar foi justamente a inclusão de um.

Devido à complexidade da criação de um avatar, pois envolve a modelagem de um modelo 3D humano, sua texturização, criação de animações para o modelo e a qualidade de todo este trabalho, optou-se por procurar um avatar pronto na internet. Era preciso encontrar um avatar que representasse uma pessoa comum, e que fosse compatível com esta versão do núcleo. A maioria dos avatares encontrados na internet são de personagens típicos de jogos, como soldados carregando armas e monstros, e desenvolvidos para funcionar com a versão comercial e dedicada para jogo do núcleo. Foi encontrado no site Unreal Development Network, no endereço:

<http://udn.epicgames.com/Two/UnrealDemoModels.html>

dois exemplos de avatares, um homem e uma mulher comuns (figura 4.3), usando roupas comuns e com animações de ações comuns, como por exemplo um homem comum andando de maneira normal. Os dois avatares foram adicionados ao Unreal Engine 2 Runtime, sendo o avatar do homem o padrão.

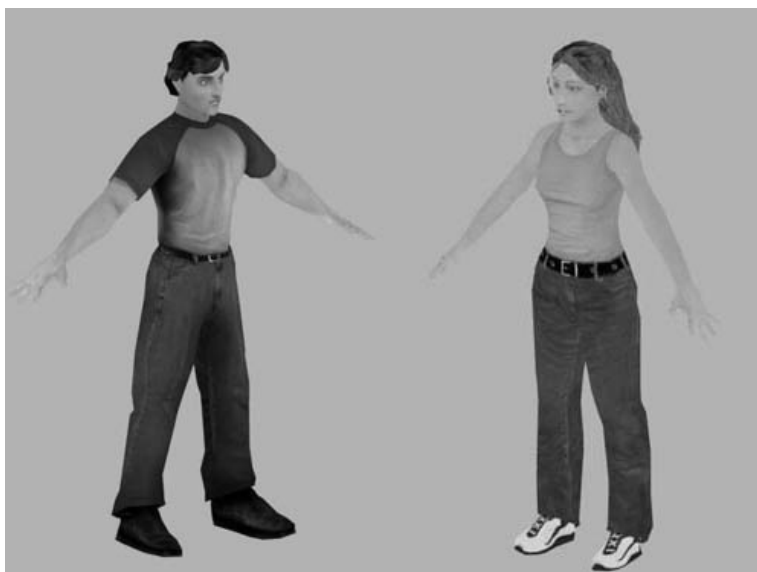


Figura 4.3 - Avatares de pessoas normais adicionados ao Unreal Engine 2 Runtime.

Em seguida foram criadas novas classes. RVPawn herda propriedades da classe padrão Pawn, e implementa nela as mudanças em relação ao avatar padrão. RVBoy e RVGirl herdam propriedades de RVPawn e implementam as mudanças específicas para os avatares masculino e feminino respectivamente. Entre as alterações estão a altura da ação “pular” dos avatares e a velocidade de deslocamento no cenário enquanto o avatar executa a ação “andar”. Avatares no Unreal possuem as ações “andar” e “correr”, sendo “correr” a ação padrão de deslocamento no cenário. Essas ações envolvem não somente a velocidade de deslocamento do avatar no cenário como também qual animação é executada pelo modelo 3D durante a ação e com qual velocidade. A intenção foi alterar a velocidade de deslocamento durante a ação “andar” de forma que o avatar percorresse a mesma distância no cenário que uma pessoa real percorreria andando normalmente no mesmo cenário no mundo real.

Outro ajuste importante foi o do cilindro de colisão do avatar. Em núcleos de jogo, para tornar mais simples a detecção de colisão entre o avatar e outros objetos no cenário, o avatar é sobreposto por um cilindro invisível, que envolve totalmente o modelo 3D do avatar, e que se desloca juntamente com ele. A detecção de colisão entre o avatar e o cenário e seus objetos é realizada com este cilindro, um objeto geométrico muito mais simples que o comparativamente muito mais complexo modelo 3D do avatar. A dimensão deste cilindro foi ajustada para representar melhor a realidade. Por exemplo, dois avatares poderão atravessar uma passagem ao mesmo tempo se isso for possível no mundo real, em uma situação igual com pessoas e a passagem com dimensões equivalentes às da simulação.

Há um detalhe importante sobre o cilindro de colisão. O que determina se o avatar está “dentro” ou “fora” de uma `RVAreaQuente` é a superposição de seu cilindro de colisão com as áreas. Como as `RVAreaQuente` são dispostas juntas umas às outras, sem espaço vazio entre elas, o cilindro de colisão do avatar se superpõe com mais de uma `RVAreaQuente` ao mesmo tempo. Para não somar simultaneamente às variáveis de dose de radiação os valores de dose de radiação de todas as áreas com as quais o cilindro de colisão do avatar está se superpondo, a classe detecta quais `RVAreaQuente` estão se superpondo com o cilindro de colisão do avatar naquele instante e calcula uma média dos valores de dose de radiação gama e de nêutrons destas áreas, somando estas médias às variáveis de dose.

É importante observar que este método utiliza uma grade X,Y de valores de dose obtida com um levantamento dosimétrico, ao invés de métodos mais sofisticados para o cálculo de dose de radiação em um determinado ponto do cenário. Portanto, os valores obtidos

na simulação devem ser encarados como estimativas aproximadas de dose, e não como estimativas literais de dose.

4.2.4 – Descrição dos ajustes nos menus

Os diversos menus na interface são definidos por várias classes do grupo RTInterface. Menus originalmente existentes foram traduzidos para o português. O menu “Rede” teve itens adicionados de forma a torná-lo usável, possibilitando iniciar uma simulação em rede, com a participação de outros usuários, diretamente da interface gráfica, o que originalmente não era possível. O menu “Opções” teve itens menos relevantes removidos.

CAPÍTULO 5

Aplicação

Para a avaliação do Unreal adaptado para simulações, era necessário escolher uma instalação nuclear e não somente reproduzi-la tridimensionalmente, mas também reproduzir os níveis de radiação ao longo da instalação durante uma determinada situação. Para isto é necessário o acesso a algumas informações detalhadas de uma instalação nuclear, como plantas da instalação com dimensões e ao menos um levantamento dosimétrico da mesma. A facilidade de acesso às informações do reator Argonauta levou à escolha do mesmo para reprodução no Unreal.

Para recriar o reator Argonauta e sua sala no UnrealEd, plantas e fotos da sala do reator foram obtidas nos arquivos de plantas e na intranet do IEN, e fotografou-se novas fotos na sala do reator para a obtenção de dados adicionais. Utilizando-se das medidas presentes nas plantas afim de preservar-se as proporções, o reator e outros elementos presentes na sala foram reproduzidos no UnrealEd utilizando-se primitivas de criação de cenários como cubos e cilindros, com texturas aplicadas aos objetos para aumentar o realismo. Diversos pontos de luz foram adicionados ao cenário de forma a tornar clara a sua visualização.

Os avatares obtidos no site Unreal Development Network foram originalmente desenvolvidos em uma escala diferente da escala utilizada durante a criação do cenário, que deu-se anteriormente à inserção destes avatares no Unreal Engine 2 Runtime. Por este motivo os avatares foram re-escalados para seu uso no núcleo, de forma a possuírem, no cenário que reproduz a sala do reator Argonauta, alturas correspondentes a 1 metro e 70 centímetros, a altura média de um indivíduo adulto no Brasil.

Através do departamento de proteção radiológica do IEN, foram obtidos dados de um levantamento dosimétrico padrão da sala do reator. No padrão deste levantamento dosimétrico, a fim de simplificar a realização das medições, o espaço da sala do reator é dividido em 9 volumes, dispostos em uma grade 3 x 3 conforme a figura 5.1, e é realizada uma medição de dose de radiação gama e uma medição de dose de nêutrons para cada volume. Os volumes possuem dimensões diferentes, e alguns não foram monitorados. A unidade de medida é o microsievert por hora ($\mu\text{S/h}$).

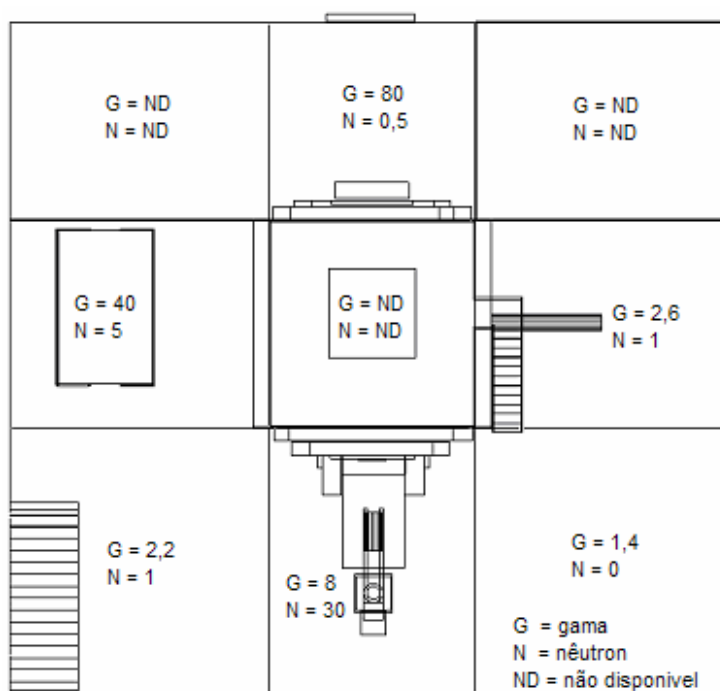


Figura 5.1 – Divisão da sala do reator de acordo com o levantamento dosimétrico utilizado, e as respectivas taxas de dose de acordo com o levantamento.

Utilizando o editor UnrealEd, foram inseridos no cenário que reproduz a sala do reator nove cubos da classe RVAreaQuente. Cada cubo representa um volume da grade 3 x 3

que representa o levantamento dosimétrico. Estes cubos foram redimensionados e posicionados de acordo com as dimensões e a posição de cada volume do levantamento dosimétrico, e tiveram seus valores de dose de radiação gama e de dose de nêutrons modificados também de acordo.

Para a utilização do sistema, deve-se executar o arquivo “UE2Runtime.exe” localizado no subdiretório “System” do diretório principal no qual está localizada uma cópia do Unreal Engine 2 Runtime, e em seguida selecionar o cenário “rv-argonauta-5000cm” e clicar no botão “carregar”. Já na simulação, pode-se pressionar a tecla F1 para a exibição de informações na tela, como os nomes dos avatares presentes na simulação (mais de um no caso de uma simulação em rede), e suas doses acumuladas de radiação gama, de nêutrons e o somatório de ambas. Daqui em diante, é possível operar o(s) avatar(es) de acordo com o teste que deseja-se realizar e, ao final do teste, observar as doses acumuladas por cada avatar.

CAPÍTULO 6

Conclusão e trabalhos futuros

6.1 – Conclusão

O objetivo inicialmente estabelecido para esta tese, o qual foi o de utilizar tecnologias de realidade virtual para desenvolver uma ferramenta para a construção de ambientes virtuais, de modo a reproduzir uma instalação nuclear com suas respectivas áreas quentes, permitindo que o usuário navegue virtualmente nesta instalação e contabilize a dose de radiação recebida, foi atingido dentro do prazo estabelecido.

Para cumprir estes objetivo, foi proposta uma metodologia para a modificação e adaptação do núcleo de jogo livre Unreal Engine 2 Runtime. Esta metodologia foi utilizada com sucesso, adaptando-o na ferramenta desejada, onde o usuário navega virtualmente na instalação através de um avatar enquanto simula a contagem de dose de radiação. A flexibilidade de diversos aspectos do núcleo, especialmente através da programação na linguagem de script UnrealScript, demonstra que softwares do mesmo gênero possuem um grande potencial para simulações.

A ferramenta de modelagem de cenários UnrealEd mostrou-se adequada e de fácil aprendizado e uso para a reprodução de uma instalação relativamente simples, como a da sala do reator Argonauta. Entretanto, para a reprodução detalhada de objetos com formas mais complexas, mostrou-se recomendável o uso de ferramentas de modelagem 3D mais convencionais, como 3D Studio Max e Maya.

Já o processo de criação de avatares com modelos 3D e ações customizados mostrou-se avançado e complexo demais para iniciantes no uso do Unreal, além de depender de outras ferramentas externas ao núcleo e de experiência em modelagem 3D. Por este motivo optou-se por utilizar avatares prontos. As mudanças nas propriedades dos avatares utilizados se mostraram suficientes para utilizá-los adequadamente nas simulações.

Esta tese e sua aplicação mostraram-se interessantes para a área nuclear, onde a segurança é fundamental, e sinalizam aplicações interessantes na área de segurança física. O treinamento virtual de procedimentos de operação realizados nas instalações nucleares pode otimizar o processo e o tempo de execução de tarefas, mantendo o compromisso de menor exposição. Este modelo, por exemplo, pode ser aplicado para treinar operadores/instrutores que atuam em usinas nucleares.

Durante o desenvolvimento:

- Foram encontrados contratempos quanto à proporção entre o cenário e o avatar. Por este motivo foi necessário realizar ajustes na escala do avatar, de forma a manter proporções realistas entre o avatar e o cenário.
- O acúmulo das doses de um determinado volume da grade é baseado na superposição, mesmo que parcial, do cilindro de colisão do avatar com o volume. Quando o avatar está posicionado na borda de um volume, seu cilindro de colisão poder se superpor a dois ou mais volumes. Como a dose acumulada é calculada incrementando-se a dose atual com os valores das doses de todos os volumes com os quais o cilindro de colisão do avatar está se superpondo, no caso de múltiplas superposições simultâneas ocorreria uma contagem incorreta da dose. Uma solução encontrada foi, separadamente para cada tipo de dose, somar os valores de dose dos volumes com os quais o cilindro de colisão do

avatar está se superpondo e dividir essa soma pelo número destes volumes, obtendo assim uma média.

- O levantamento dosimétrico obtido com o departamento de proteção radiológica do IEN possui poucos pontos monitorados, pois não tinha por objetivo original criar uma grade detalhada. Embora o pequeno número de pontos de monitoração seja o suficiente para os interesses deste departamento, este pequeno número não permite fazer estimativas mais apuradas no Unreal. A interpolação dos valores da grade, a fim de gerar uma grade com mais pontos e portanto mais precisa, também não se mostra útil, devido ao número muito pequeno de pontos. Houve interesse em realizar um levantamento dosimétrico com mais pontos de monitoração para esta tese. Porém, como este levantamento dosimétrico mais preciso não era necessário para demonstrar as mudanças realizadas no Unreal, optou-se por deixar esta tarefa para um trabalho futuro.

- Devido às mesmas dificuldades relacionadas à não realização de um levantamento dosimétrico mais preciso, não foi realizada uma comparação entre medições reais obtidas durante um procedimento na sala do reator com medições virtuais obtidas durante uma simulação do mesmo procedimento no ambiente virtual. Tal comparação seria desejável, a fim de se determinar a precisão da medição virtual, e se necessário realizar ajustes na simulação a fim de aumentar sua precisão.

6.2 – Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, poderá ser realizado:

- Maior interação entre o avatar e o ambiente virtual, de forma a permitir a simulação de algumas tarefas simples, como mover um objeto no cenário ou operar algum mecanismo no cenário.
- Modificar e adaptar o sistema para a utilização de óculos e luvas de realidade virtual.

- Utilização do ponteiro de mouse para interações dos tipos apontar-e-clicar e arrastar-e-soltar, para a simulação de algumas tarefas manuais como interações em painéis de controle.
- Modificação para extração de um relatório das atividades para análise do comportamento do avatar do operador, com todas as ações executadas e mudanças ocorridas.
- Trajes de proteção contra radiação para o avatar, para anular os efeitos das radiações.

CAPÍTULO 7

Referências bibliográficas

AUGUSTO, S. C., MÓL, A. C. A., JORGE, C. A. F., et al., 2007, “Use of Virtual Reality to Estimate Radiation Dose Rates in Nuclear Plants”. *2007 International Atlantic Conference – INAC 2007*, Santos, São Paulo, Brasil, Outubro 2007.

COUTO, P. M., MÓL, A. C. A., JORGE, C. A. F., et al., 2007, “Estudo do Uso de Núcleos de Jogos na Criação de Ambientes Virtuais para Suporte ao Planejamento de Evacuação de Prédios e Circulação em Áreas Sujeitas a Radiação”. *XIII Seminário Anual Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica CNPq – PIBIC IV, Seminário Anual Programa de Bolsas de Iniciação Científica da CNEN PROBIC*, São Paulo, Agosto 2007.

Epic Games. *Unreal Engine 2 Runtime Demo Version End-User License Agreement*. Disponível em: <<http://udn.epicgames.com/Two/UnrealEngine2RuntimeEULA.html>> Acessado em: 24 fev. 2008.

FRANCIS, G. A., TAN, H. S., 1999, “Virtual Reality as a Training Instrument”. *The Temasek Journal* v. 7, pp. 4-15.

HAJEK, B., KANG, K., LEE, Y., et al., 2004, “Internet Virtual Reality Environment for Simulating, Predicting, and Minimizing Worker Radiation Exposure”. *Fourth American Nuclear Society International Topical Meeting on Nuclear Power Plant Instrumentation and Human Machine Interface Technologies – NPIC & HMIT 2004*. Columbus, Ohio, USA, 19-22 Setembro.

Halden Virtual Reality Centre. *VRdose Software*. Disponível em:

<<http://www2.hrp.no/vr/products/vrdose/download/pdf/vrdose-brochure.pdf>> Acessado em: 24 fev. 2008.

KIM, Y. H., PARK, W. M., 2004, "Use of Simulation Technology for Prediction of Radiation Dose in Nuclear Power Plant". *Lecture Notes in Computer Science*, n. 3314, pp. 413-418.

KNIGHT, T. W., DALTON, G. R., TULENKO, J. S., 1997, "Virtual Radiation Fields – A Virtual Environment Tool for Radiological Analysis and Simulation". *Nuclear Technology*, n. 117 (2), pp. 255-266.

LEE, D. J., SALVE, R., ANTONIO, A., et al., 2001, "Virtual Reality for Inspection, Maintenance, Operation and Repair of Nuclear Power Plants (VRIMOR)". *FISA 2001, EU Research in Reactor Safety, Mid-term Symposium on Shared-cost and Concerted Actions*, EC. Luxemburg, 12-15 Novembro.

MÓL, A. C. A., GRECCO, C. H. S., CARVALHO, P. V. R., et al., 2005, "Implementation of the Immersive Virtual Reality Laboratory in Nuclear Engineering Institute". *2005 International Nuclear Atlantic Conference - INAC 2005*. Santos, São Paulo, Brasil. 28 Agosto - 2 Setembro.

OHGA, Y., FUKUDA, M., SHIBATA, K., et al., 2004, "A System for Calculation and Visualization of Radiation Fields for Maintenance Support in Nuclear Power Plants". *Tenth International Conference on Radiation Shielding and Thirteenth Topical Meeting on Radiation Protection and Shielding – ICRS 10/RPS 2004*. Funchal, Portugal, 9-14 Maio.

PASTURA, V., 2003, “Energia Nuclear e Proteção Radiológica”. *Divisão de Proteção Radiológica – Instituto de Engenharia Nuclear – Comissão Nacional de Energia Nuclear*. Rio de Janeiro, Setembro 2003.

Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, In: ICRP Publication 60, 1990.

RÓDENAS, J., ZARZA, I., FELIPE, A., et al., 2005, “Generation of Dose Databases for an Operator Training Application in Nuclear Facilities”. *Proceedings of the Third International Conference on Education and Training in Radiological Protection – ETRAP 2005*. Bruxelas, 23-25 Novembro.

RÓDENAS, J., ZARZA, I., BURGOS, M. C., et al., 2004, “Developing a Virtual Reality Application for Training Nuclear Power Plant Operators: Setting Up a Database Containing Dose Rates in the Refuelling Plant”. *Radiation Protection Dosimetry*, n. 111 (2), pp. 173-180.

VERMEERSCH, F., NIJS, R., 2005, “The Use of Computer Simulations in Specific Job Training, Risk Communication and Safety”. *Proceedings of the Third International Conference on Education and Training in Radiological Protection – ETRAP 2005*. Bruxelas, 23-25 Novembro.

WIKIPEDIA. *Doom Engine*. Wikipedia. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Doom_engine> Acessado em: 24 fev. 2008.

WIKIPEDIA. *Game Engine*. Wikipedia. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Game_engine> Acessado em: 24 fev. 2008.

WIKIPEDIA. HUD (computer gaming). Wikipedia. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/HUD_%28computer_gaming%29> Acessado em: 24 fev. 2008.

WIKIPEDIA. Virtual reality. Wikipedia. Disponível em <http://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_reality> Acessado em: 24 fev. 2008.